This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

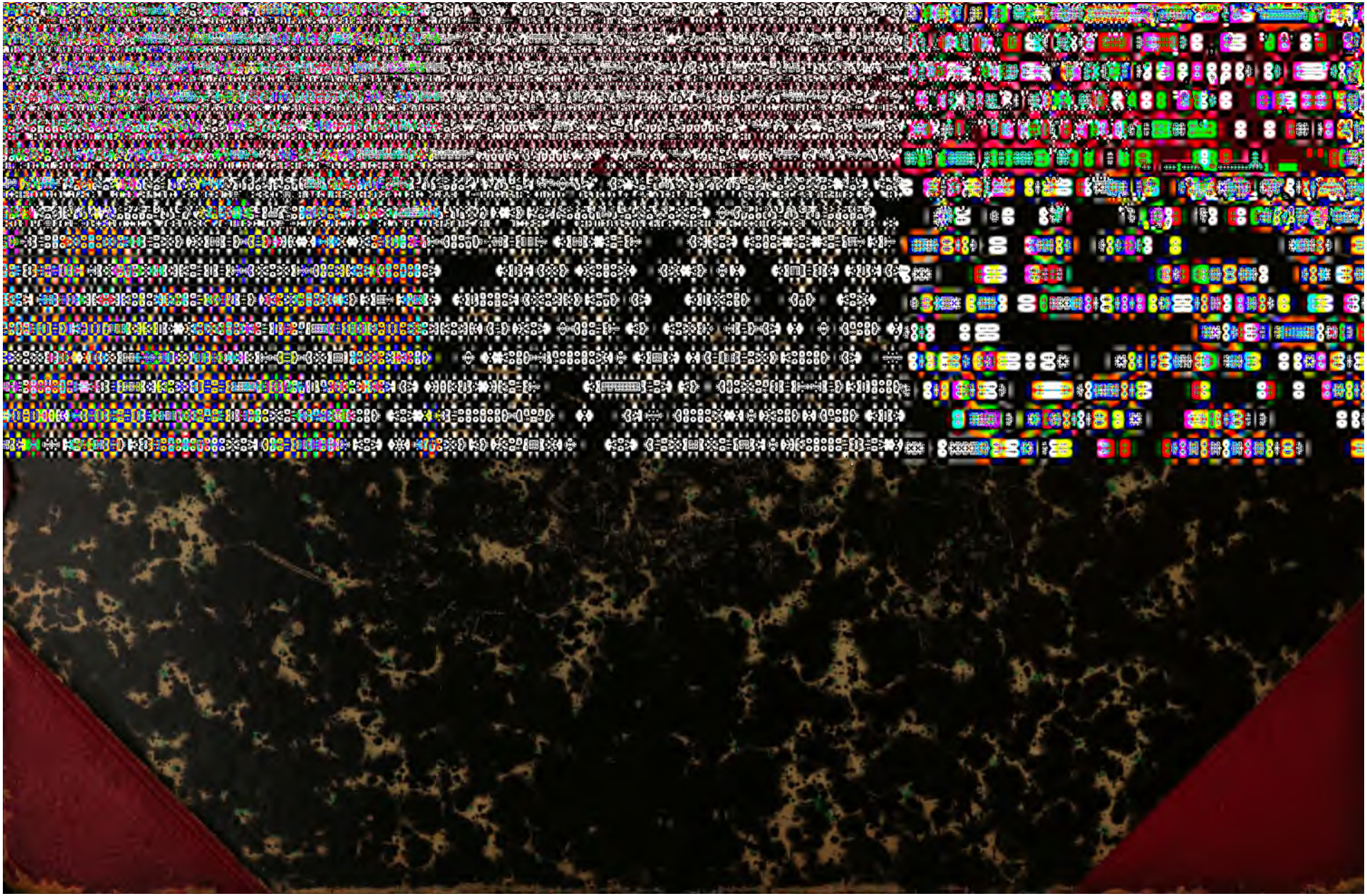
+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

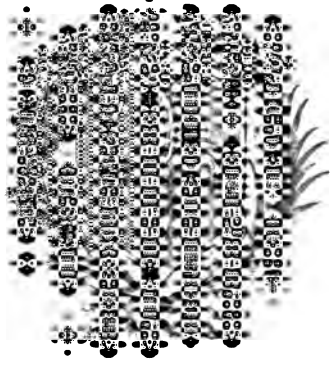
En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`



Library

MEMOIRES

DE LILLE



JEAN-BART

TABLE DES MATIÈRES DU TOME II

Mémoire N° 6. — C. Eg. Bertrand : *Remarques sur le Lepidodendron Hartcourtii de Witham* (avec 10 planches).

Mémoire N° 7. — E. Bartin : *Études sur le régime dotal.*

Mémoire N° 8. — P. Duhem : *Sur la dissociation dans les systèmes qui renferment un mélange de gaz parfaits.*

Mémoire N° 9 — P. Hallez : *Morphologie générale et affinités des Turbellariés.*

6

FRANCE
LIBRARY
122/w

ÉMOIRES

E LILLE

N° 6.

SUR LE LEPIDODENDRON
ITHAM

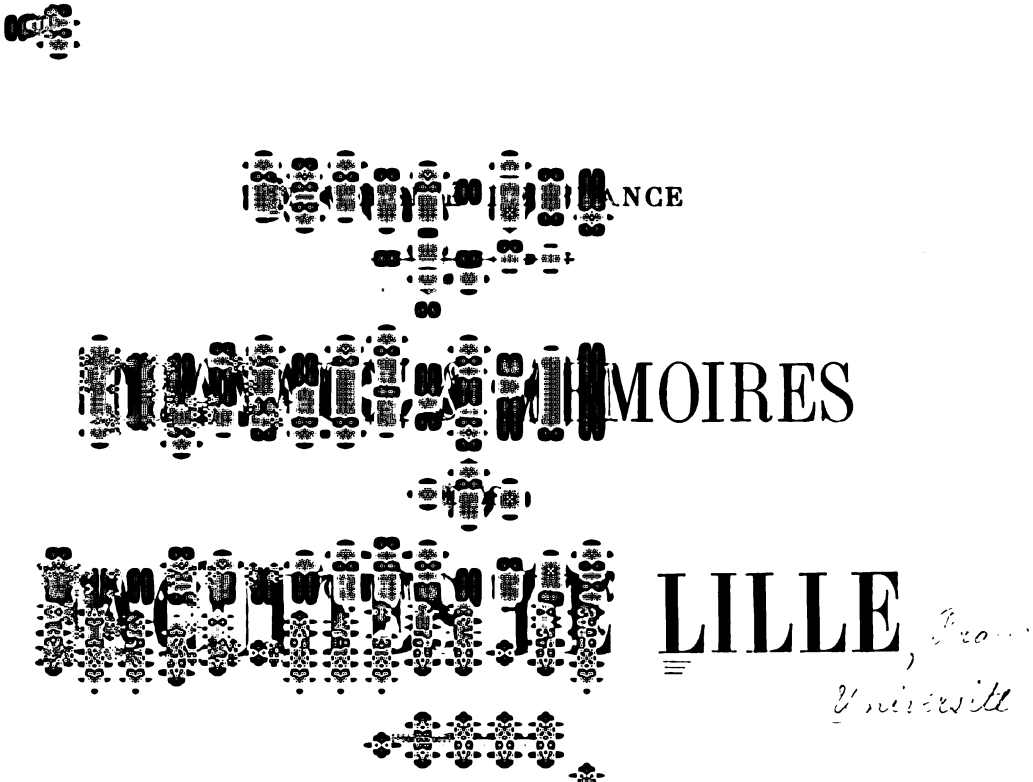
U PHILIPPE-LEBON

EN VENTE

à PARIS, chez : GAUTHIER-VILLARS ET FILS, 55, quai des Gds-Augustins.

— ALPH. PICARD, rue Bonaparte, 82.

à LILLE, chez : LE BIGOT FRÈRES, rue Faidherbe, 11 et 13.



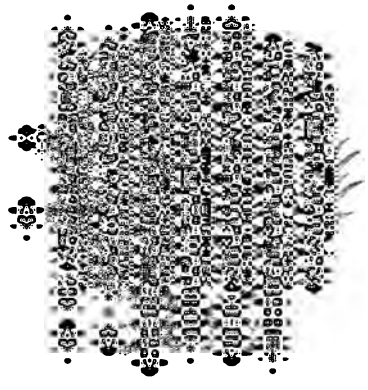
MÉMOIRES

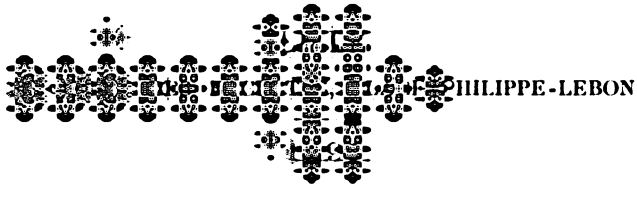
LILLE,

Université

6.

LE LEPIDODENDRON

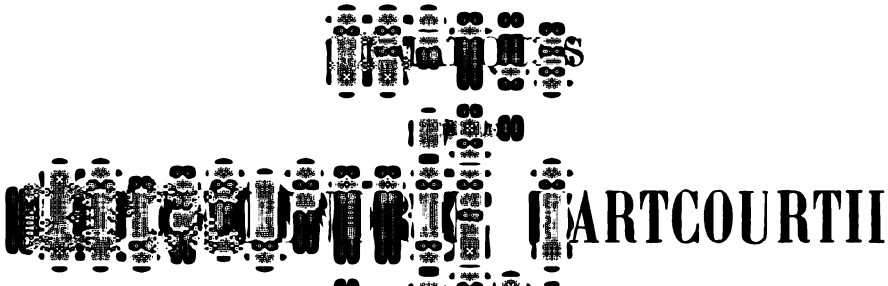




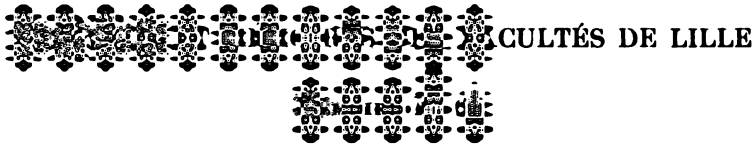
PHILIPPE-LEBON

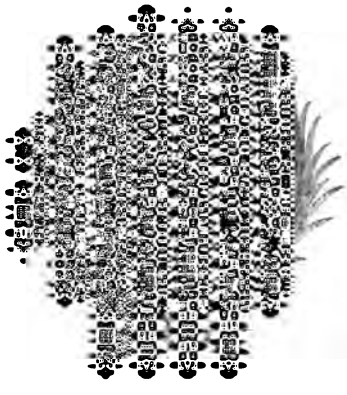
Le Conseil Général des Facultés de Lille a ordonné l'impression de ce mémoire, le 14 Janvier 1891.

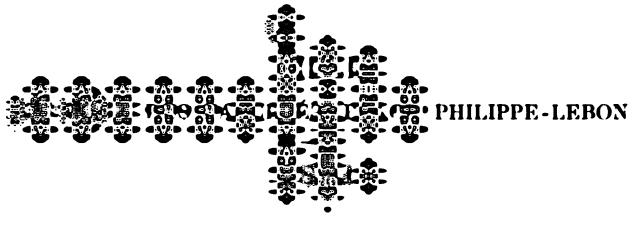
L'impression a été achevée, chez Le Bigot Frères, *le 15 Juillet 1891.*


ARTCOURTII

RAND


CULTÉS DE LILLE




PHILIPPE-LEBON

L. Soc. 1636.10

The University

REMARQUES

SUR LE

LEPIDODENDRON HARTCOURTII DE WITHAM

PAR C. EG. BERTRAND

INTRODUCTION HISTORIQUE

SOMMAIRE

1. Ce qu'est le *Lepidodendron Hartcourtii*. Les deux espèces qui ont été confondues sous ce nom.
2. Witham.
3. Lindley et Hutton.
4. Brongniart.
5. Le *Lomatofloyos crassicaule* de Corda et son *Diploxylon cycadoïdeum*.
6. Unger et les Lépidodendrons des Schistes à cypridines de Saalfeld.
7. Travaux de Binney.
8. Travaux de M. Williamson. — Les figures 9, 10, 12 de son onzième mémoire. — La figure 11 et les spécimens blessés. — Les plantes diploxyloïdes de Burntisland et de Laggan Bay. Le *Lepidodendron mundum* âgé. — Les recloisonnements des fibres primitives centrales. — Distinction spécifique des Lépidodendrons d'après leur bois primaire annulaire ou plein. — Le deuxième mémoire. — Les petites espèces à bois primaire annulaire du seizième mémoire.
9. Travaux de M. B. Renault.
10. Travaux et Résumé de M. de Solms-Laubach.

11. Les échantillons de Westphalie trouvés par M. le Dr J. Félix.
12. Résumé de M. A. Schenk.

---

13. Importance et intérêt des données relatives au *Lepidodendron Hartcourtii*.
14. Place attribuée au *Lepidodendron Hartcourtii* dans la Classification.
15. Matériel étudié. Méthode employée.

---

1. — Le *Lepidodendron Hartcourtii* With, est un fossile à structure conservée du terrain houiller moyen d'Angleterre. Ce fossile est d'une extrême rareté. Le premier échantillon qui en a été décrit et figuré, a été trouvé en 1831 par le Rev. Vernon Hartcourt, dans le toit d'une couche de charbon de la mine de Hesley-Heath, près de Rothbury, dans le Northumberland. A part peut-être un échantillon trouvé à Dudley par M. Dawes, et que Binney décrivit plus tard sous le nom d'*Halonia regularis* (1), dans son beau travail sur les Lépidodendrons, il ne semble pas qu'on ait trouvé de nouveaux échantillons de *Lepidodendron Hartcourtii* jusqu'en 1886. Vers cette époque, M. Williamson en découvrit de nouveaux spécimens, et reconnut qu'on identifiait en Angleterre, depuis nombre d'années, avec le *L. Hartcourtii*, une espèce voisine de celle-ci, mais qui n'était pas le véritable *L. Hartcourtii*. Cette confusion spécifique a une certaine gravité, eu égard aux discussions engagées à cette époque; ce *Lepidodendron pseudo-Hartcourtii* présente en effet des productions libéro-ligneuses secondaires qui n'ont pas encore été vues dans le *L. Hartcourtii* type. En même temps qu'il découvrait de nouveaux échantillons de *L. Hartcourtii* M. Williamson retrouva les préparations et l'échantillon étudiés par Lindley et Hutton (2). M. Williamson proposa alors de désigner le

(1) Echantillon n° 34.
(2) M. Williamson a retrouvé cet échantillon et ces préparations dans les collections de la *Société philosophique du Yorkshire*.

Lepidodendron pseudo-Hartcourtii sous le nom de *Lepidodendron fuliginosum* ; c'est celui que j'emploierai, bien que M. de Solms (1) lui ait substitué celui de *L. Williamsoni*. Je serais certainement très heureux de voir rappeler les travaux considérables de mon savant collègue de Manchester, et les discussions auxquelles il a pris part à propos du *L. Hartcourtii*, en donnant son nom à l'espèce la plus fréquente des gisements anglais; mais, obligés que nous sommes de nous conformer le plus possible à la règle de priorité établie par M. de Candolle en matière de nomenclature spécifique, je conserverai le nom de *L. fuliginosum*, choisi par M. Williamson, pour désigner l'espèce si souvent confondue avec le *L. Hartcourtii*, et qui, je le répète, est voisine de celle-ci. Depuis 1886, le *L. Hartcourtii* a été retrouvé plusieurs fois par M. Cash et par d'autres collectionneurs anglais.

2. — L'échantillon type du *Lepidodendron Hartcourtii*, celui qui a été trouvé par Vernon Hartcourt, était un stipe partiellement décortiqué, *privé de ses coussinets superficiels* (2). L'assise subéreuse était demeurée en place, sinon partout, du moins en quelques points. Un fragment en fut étudié par WITHAM (de Larrington) qui publia les résultats de ses recherches en mars 1832 (3). Ce fut Witham qui assigna à la plante son nom spécifique. Il en examina plusieurs sections transversales, deux ont été représentées, Pl. 1, fig. 3, et Pl. 2,

(1) H. Graf zu Solms-Laubach. Einleitung in die Palæophytologie. Leipzig 1887. 1 volume in-8.

(2) Cette disparition des coussinets foliaires est un fait accidentel. Elle ne résulte pas d'une décortication régulière qui aurait éliminé les tissus compris entre la couche subéreuse et la surface du stipe.

(3) H. Witham de Larrington. On the Lepidodendron Hartcourtii. Transactions of the *Natural History Society of Newcastle upon Tyne*, mars 1832. 2 pl. La note de Witham a été publiée de nouveau avec une légère inversion dans son ouvrage intitulé « The internal structure of the fossil vegetables found in the Carboniferous and Oolitic deposits of the Great Britain. » Edimburgh, 1833, Pl. XII et XIII.

fig. 1. La première de ces figures montre bien les nombreuses spires formées par les sections des pièces sortantes qui traversent l'écorce, que j'appellerai moyenne, pour la distinguer des tissus corticaux superficiels dépendant des coussinets, et de la masse corticale intérieure très abîmée dans ce spécimen de Witham. La masse libéro-ligneuse, qui paraît très légèrement excentrique n'est pas compréhensible sur cette figure. Inversement la fig. 1, pl. 2 montre une couronne ligneuse primaire annulaire très nette, entourant un tissu central déchiré, mais sur cette seconde coupe les sections des sorties n'ont pas été figurées. La plus grande partie de la région correspondante à l'écorce interne est occupée par un calcaire noir de remplissage qui a refoulé les débris du tissu cortical interne. Les dimensions du fragment que Witham a étudié mesuraient, d'après sa fig. 1 pl. 1, 42^{mm} de diamètre sur 53^{mm},5 de hauteur. La surface montrait de nombreux mamelons frustes (1) répartis sur deux séries d'hélices parallèles inclinées l'une sur l'autre de 68°,5 (2). D'après la fig. 4. pl. 1, qui est une section tangentielle très rapprochée de la surface, on compte 38 sorties dans un rectangle qui mesure 26^{mm} de large sur 37^{mm} de hauteur. Il

(1) Les mamelons frustes de l'échantillon de Witham n'autorisaient qu'avec beaucoup de réserve l'attribution de la plante au genre *Lépidodendron*. Sans doute leur agencement permettait de voir qu'il s'agissait d'une plante à faciès lépidendroïde, mais l'absence de coussinets et de cicatrices ne permettait pas une attribution générique aussi précise que celle que Witham a indiquée par le nom *Lepidodendron Hartcourtii*. Le genre Lépidodendron défini jusqu'alors par ses coussinets et ses cicatrices foliaires était ainsi exposé ou bien à embrasser plusieurs types génériques de structures très différentes, ou bien à ne plus convenir seulement qu'à une partie des formes qu'on y rapporte d'après les empreintes. Ce groupe restreint étant alors défini non seulement par sa surface, mais en plus par une certaine structure spéciale.

(2) Les séries ascendantes sénestres (3) pour un observateur central sont inclinées de 38°5 sur l'horizon. Les séries ascendantes dextres sont inclinées de 73° sur l'horizon.

(3) Je dis qu'un observateur est central par rapport à une section transversale lorsque cet observateur est supposé placé au centre de figure de la section la tête étant du côté du sommet de la branche.

convient de signaler parmi les figures de Witham, la fig. 2 pl. 2 qui est une bande grossie de la section transversale d'ensemble du stipe. Elle nous montre toutes les régions, depuis l'assise subéreuse inclusivement jusqu'aux fibres primitives centrales. La zone subéreuse est bien indiquée. Il en est de même des débris de l'écorce interne. Il est même probable, d'après ce croquis, qu'il y avait des restes du liber conservés en quelques points. Dans les autres figures, Witham a représenté le contact des vaisseaux primaires avec les fibres primitives, fig. 4 pl. 2; le détail de trois régions polaires dont la forme est assez exactement rendue, fig. 5; la zone subéreuse, ses rapports avec la périphérie de l'écorce moyenne et ses trous, fig. 3; la section horizontale de la pièce sortante au point où celle-ci entre dans la zone subéreuse, fig. 7; enfin la section transversale de la masse sortante; malheureusement cette dernière figure, dont l'importance est capitale, n'est pas compréhensible. Étant donné l'isolement de la trace foliaire, je pense qu'elle a été sectionnée dans la zone corticale interne.

La description donnée par Witham est très sommaire, c'est à peu près l'énumération des zones indiquées sur ses figures, et la comparaison de l'ensemble avec la section du stipe de *Lycopodium clavatum* (1).

3. — En 1832, LINDLEY et HUTTON étudièrent de nouvelles préparations de l'échantillon type du *Lepidodendron Hartcourtii* et virent celles de Witham. Les résultats des observations de Lindley et Hutton ont été consignés dans le deuxième volume de leur « *Fossil Flora of the Great Britain*, p. 45 à 53. Pl. 98 et 99 ». Ces nouvelles figures sont bien inférieures à celles de Witham. Il y a lieu d'y remarquer que sur la fig. 1. pl. 99, qui montre une partie de la couronne ligneuse,

(1) Les préparations de Witham ont été réétudiées par le professeur King de Gallway et plus récemment par M. Williamson.

les régions polaires sont toutes réunies les unes aux autres par de petits éléments. Au centre de l'espace ainsi limité est un îlot libre de petits éléments. N'est-ce là qu'une erreur du dessinateur? Cette manière d'être très singulière ne se voit que bien rarement. Elle correspond, soit à une conservation partielle du liber primaire, soit à un état particulier des pôles au moment de l'émission de la pièce sortante, état sur lequel je reviendrai, mais cette dernière manière d'être ne se reproduirait pas sur tous les pôles consécutifs comme il est représenté ici, et comme le croyaient Lindley et Hutton. Sur la fig. 6, pl. 99, ces deux savants ont figuré assez exactement la section transversale de la trace foliaire. La masse ligneuse et les tubes laticifères (1) sont bien indiqués à leurs places respectives, mais les éléments sécréteurs ont été pris pour des éléments ligneux, d'où une pièce sortante à double bois. Le liège est très mal figuré, et sur le schéma qui résume leur étude, fig. 2, pl. 98, Lindley et Hutton n'ont pas délimité l'écorce moyenne. La description qui accompagne ces figures se borne à compléter en quelque sorte celle de Witham en la rectifiant sur deux ou trois points. Lindley et Hutton décrivent en particulier l'aspect si singulier des régions polaires et la double masse ligneuse des cordons sortants.

4. — Ad. Brongniart ayant reçu de Hutton une section transversale d'ensemble de l'échantillon type du *Lepidodendron Hartcourtii*, il l'étudia et consigna ses remarques dans son « *Histoire des végétaux fossiles*, t. 2, p. 37 et suiv., pl. 20 et 21. » La première de ces planches contient deux figures originales; la fig. 2, qui montre une section transversale d'ensemble grossie deux fois, et la fig. 3, qui montre, au grossissement de 10 diamètres, la masse libéro-ligneuse rejetée

(1) Ces laticifères pouvaient être des tubes gommeux, ou des tubes à tannin.

contre l'écorce moyenne, la plus grande partie de l'écorce interne très abîmée, et une portion de l'écorce moyenne. Ces figures, dessinées par Riocreux, sont d'une merveilleuse exactitude. On y reconnaît, sur la droite du dessin, pour un observateur central (1), les régions polaires unies deux à deux qui ont donné lieu à l'interprétation et à la figure de Lindley et Hutton. C'est là un fait accidentel dû à un léger refoulement de lames polaires très saillantes. Le liber a disparu de ces régions, il est rejeté à l'état de *lambeaux* contre l'écorce interne. Cette figure donne une bonne idée des variations d'aspect des régions polaires. On y voit le tissu cortical interne déchiré très abîmé, refoulé par une injection de matières étrangères, mais reliant encore, en un point, la masse libéro-ligneuse à l'écorce moyenne. Cette dernière est assez bien conservée, excepté au voisinage des pièces sortantes, qui sont comme isolées dans des lacunes. Malgré cet isolement, toutes ont conservé leur orientation normale. La lame ligneuse des traces foliaires et leur groupe laticifère sont bien indiqués. Il est regrettable que, dans son texte, sous l'influence immédiate des idées de Lindley et Hutton, Brongniart ait vu dans ces laticifères des éléments ligneux. Les figures 1, 5, 6, 7 de la planche 20 sont respectivement les reproductions des figures 1, pl. 98, fig. 3, fig. 1, fig. 4, pl. 99 du *Fossil Flora*. La fig. 4 est une reproduction de la fig. 3, pl. 2 de la note de Witham. Les figures de la planche 21 ont été dessinées par Brongniart, à l'exception de la fig. 3, qui est une reproduction de la fig. 8, pl. 99 du *Fossil Flora*. Les trois nouvelles figures données par Brongniart sont : fig. 1, une vue grossie des régions comprises entre les fibres primitives centrales et la portion la plus interne de l'écorce moyenne ; fig. 2, une section oblique d'une trace foliaire prise dans l'écorce moyenne, près de la

(1) L'observateur regardant le haut de la figure, c'est-à-dire ici la face postérieure de l'échantillon.

zone subéreuse. Cette figure laisse beaucoup à désirer; fig. 4, un schéma ou une sorte de vue perspective d'un secteur du stipe, qui résume les remarques de Brongniart, tout comme celle du *Fossil Flora*, résumait les idées des auteurs anglais. La préparation de Brongniart ne montrait pas la zone subéreuse.

La fig. 1, pl. 21 est seule importante. Brongniart y remarque bien le contact direct des vaisseaux ligneux primaires à différenciation centripète et des fibres primitives, qu'il prend d'ailleurs pour un tissu médullaire. La continuité de la couronne vasculaire est bien indiquée. On voit à sa région marginale, assez exactement figurés, un pôle simple, un pointement trachéen à l'état de lame mince, et la partie gauche d'un pointement double. Entre ces deux dernières régions on voit l'origine d'une pièce sortante. Brongniart ne s'est pas rendu compte de ces derniers détails, mais je tiens à bien montrer le degré d'exactitude de son croquis en soulignant ce qu'un anatomiste peut en tirer. On voit même exactement représentées, avec leur forme si spéciale, deux pièces sortantes qui traversent le liber, la première est placée entre le pôle simple et le pointement en lame mince, la seconde, réduite à sa moitié, est en face d'un pointement double; elle allait quitter la couronne libérienne pour entrer dans l'écorce interne. La limite externe du liber n'est pas reconnaissable sur cette figure de Brongniart, *bien qu'elle existe sur la préparation*. Le tissu cortical interne n'existe plus qu'à l'état de lambeaux. Les traces foliaires qui le traversent sont coupées obliquement; seule la pièce qui n'a pas de lettre indicatrice est sectionnée transversalement. Cette pièce a été déplacée pendant la macération qu'a subie la plante lors de sa transformation en tourbe, par conséquent avant sa minéralisation. L'étirement tangentiel des éléments les plus internes de l'écorce moyenne n'est pas rendu sur la figure.

Brongniart a décrit exactement les diverses régions du

stipe. Il a reconnu l'anneau ligneux primaire continu avec trachées localisées dans les pointements périphériques. Il a vu les rapports du tissu central avec les vaisseaux ligneux. Les pièces sortantes lui semblent partir directement des pôles trachéens tout simplement en s'écartant de ceux-ci. Il critique, rectifie et complète les observations de Lindley et Hutton, puis il essaie de déterminer les affinités des Lépidodendrons, il les rapproche des *Tmesipteris*.

En 1839, dans son travail sur le *Sigillaria elegans* (1), Brongniart a réédité la plupart des figures ci-dessus; voici la correspondance des figures dans les deux ouvrages.

Fig. 1. Pl. XXX (6) du *Sigillaria*			= fig. 1. Pl. XX. *Histoire des végétaux fossiles.*		
Fig. 2.	Id.	—	= fig. 2.	Id.	—
Fig. 3.	Id.	—	= fig. 4.	Id.	—
Fig. 4.	Id.	—	= fig. 5.	Id.	—
Fig. 5.	Id.	—	= fig. 3.	Id.	—
Fig. 7.	Id.	—	= fig. 7.	Id.	—

La fig. 6, pl. XX, de l'*Histoire des végétaux fossiles* n'a n'a pas été reproduite. La fig. 6, pl. XXX, du mémoire *sur le Sigillaria* est une section radiale de l'anneau vasculaire. La fig. 8 de la même planche est une section radiale des éléments dits médullaires. La planche XXXI du mémoire *sur le Sigillaria* est la reproduction de la planche XXI de l'*Histoire des végétaux fossiles*.

Dans ce nouveau travail, Brongniart compare la structure du *Lepidodendron Hartcourtii, telle qu'il l'a fait connaître,* à celle du *Sigillaria elegans* (2). Frappé par les dissemblances qu'il observe chez les deux plantes, il n'hésite pas à ranger le

(1) Ad. Brongniart. Observations sur la structure intérieure du Sigillaria elegans comparée à celles des Lépidodondrons et des Stigmarias et à celle des végétaux vivants. In-4, Paris, 1839, 11 pl. Extrait des *Archives du Museum.*

(2) M. B. Renault a reconnu que l'échantillon d'après lequel Brongniart a décrit la structure du *Sigillaria elegans* appartient en réalité à une autre espèce, le *Sigillaria Menardi*.

Sigillaria parmi les Gymnospermes, près des Cycadées, et le *Lepidodendron Hartcourtii* dans les Lycopodiacées. Pour faire cette séparation, Brongniart s'est surtout appuyé sur la présence, chez la Sigillaire, de coins ligneux à développement centrifuge, séparés par des rayons, dont le *Lepidodendron Hartcourtii* n'offre pas la moindre trace. Il s'est appuyé aussi sur l'isolement du bois primaire en regard de ces coins et sur l'origine du faisceau sortant.

La préparation de Brongniart a été étudiée par M. Renault, qui en a tiré, comme nous le verrons, de précieuses indications sur la structure des pièces sortantes en différents points de leur course et sur les rapports de ces pièces sortantes avec les régions polaires du stipe.

5. — Corda n'a pas eu occasion d'étudier par lui-même le *Lepidodendron Hartcourtii*, mais il a fait connaître une plante dont la structure offre avec celle de cette espèce de si profondes analogies, qu'il ne m'est pas possible de laisser de côté dans cette bibliographie les indications qu'il a données à son sujet (1). La plante de Corda a reçu le nom de *Lomatofloyos crassicaule*; elle a été trouvée près de l'étang de Malikowetz, dans la seigneurie de Radnitz en Bohême. Elle provient du grès carbonifère de Chomle (2). Corda eut occasion d'observer des fragments mesurant jusqu'à 10 et 12 pieds de longueur. En certains points les frondes étaient encore adhérentes à la surface de l'axe. Comme il ne s'agit pas ici de présenter une critique de la description ou des comparaisons de Corda, je limiterai mon résumé à l'indication des résultats essentiels, il

(1) Corda. Beiträge zur Flora der Vorwelt, Juillet 1845. — in-4°, 60 pl.; la seconde édition a été imprimée à Berlin en 1867.

(2) Les premiers échantillons de *Lamotofloyos crassicaule* ont été trouvés en 1832 et décrits dans le 2me volume du *Flora der Vorwelt* de Sternberg sous le nom de *Cycadites Cordaï*. Les beaux spécimens décrits ultérieurement par Corda ont été trouvés en 1843.

me suffit pour cela d'énumérer les principales figures. La planche I montre des plaques d'écorce avec coussinets et cicatrices, fig. 1 et 2 ; des coussinets isolés, fig. 3, 7, 8 ; des sections transversales d'ensemble de deux stipes aux échelles de ½ et ⅓, fig. 4 et 5 ; l'ensemble d'un morceau de cylindre ligneux en vue perspective, fig. 6 ; et des détails sur la structure du coussinet tels que l'épiderme, fig. 10, le tissu (fibreux ??) du coussinet fig. 15, une trace foliaire coupée obliquement, fig. 13. La planche II est occupée par une section transversale d'ensemble d'un stipe fig. 1, et par un croquis montrant un stipe fendu longitudinalement, fig. 2. Dans la planche III, la fig. 1 nous montre l'ensemble de la masse ligneuse primaire représentée grandeur naturelle. Le bois forme une couronne continue à pointements trachéens extérieurs très fortement saillants et par là le *Lomotafloyos* ressemble beaucoup au *Lepidodendron Hartcourtii*. La ressemblance est complétée par les très nombreuses sorties que nous montrent les figures 6, 7, 8. Nous verrons même, en étudiant les travaux de M. Renault, qu'elle se poursuit jusque dans la forme des pointements trachéens et dans leurs rapports avec les traces foliaires. Le grand diamètre de la couronne vasculaire est ici de 22^{mm}, le petit diamètre mesure $4^{mm},5$, l'épaisseur de la couronne est d'environ $1^{mm},5$ (1). Les figures 6, 7, 8, 9, 10, font voir des portions plus ou moins écrasées de la couronne vasculaire ; 6, 7, 8 montrent les nombreuses sorties et les pôles. Autour des sorties on voit même un reste de liber, fig. 6. La fig. 8 semble indiquer que la masse sortante naît sous le pôle ou entre les pôles, à l'intérieur de l'anneau vasculaire, fait qui est extrêmement singulier. La pièce sortante s'étale très rapi-

(1) Dans un morceau de stipe mesurant $\frac{184^{mm}}{30^{mm}}$ les dimensions de la couronne vasculaire étaient de $\frac{37^{mm}}{10^{mm}}$ et l'épaisseur du bois variait entre 3^{mm} et $1^{mm},5$. Il n'y avait aucune trace de bois secondaire.

dement en s'éloignant de la couronne vasculaire. Les fig. 2 et 3 sont des sections transversales de la zone subéreuse. La fig. 4 est une section transversale d'un lambeau de l'écorce moyenne. Les fig. 11 et 12 sont des sections radiales du bois et du tissu central. *Malgré le grand diamètre de ce stipe, il n'y avait encore aucune trace de productions libéro-ligneuses secondaires* (1). La planche IV est consacrée aux frondes. La fig. 1 montre de longues frondes étroites reliées au stipe par un coussinet qui devient lamelleux dans sa partie supérieure libre. Les frondes sont vues à plat dans la fig. 2. Les figures 3 et 4 sont des sections transversales de frondes plus fortement grossies en 5 et 6. Les figures 7 et 8 sont consacrées aux épidermes. La fig. 9 montre les éléments ligneux de la fronde en long. Les fig. 10 et 11 sont des sections radiales pratiquées dans la partie épaisse de la fronde.

Dans la planche V, Corda a figuré une branche portant à sa surface les cicatrices d'insertion de *quatre petits rameaux*. La fig. 2 représente un tronc montrant les planchers dits médullaires. Dans le *Lomatofloyos crassicaule*, la masse de fibres primitives centrales se rompait en planchers horizontaux plus ou moins espacés. Les fig. 3 et 6 font voir ces planchers de profil, la fig. 5 les montre de face. La fig. 4 représente un autre tronçon avec (moelle ?) d'*Artisia*. Les fig. 7 et 8 sont des croquis grandeur naturelle de la couronne vasculaire et des planchers attenants.

C'est dans ce même gisement de Chomle que Corda a trouvé son beau *Diploxylon cycadoïdeum*, plante à extérieur (lépidendroïde?), mais qui montre autour de sa couronne vasculaire primaire une épaisse couche de tissus libéro-ligneux secondaires. D'après la fig. 1, pl. 10, qui le représente réduit au $^1/_{10}$, le

(1) Avant l'aplatissement qui a eu pour effet d'élargir beaucoup le grand axe du rameau celui-ci était déjà elliptique, mais il est probable que le grand axe ne mesurait que 11 à 12 centimètres au lieu de 18.

stipe de Diploxylon étudié par Corda mesurait $1^{m}30$ de long sur $0^{m}33$ de large (1). Les pointements trachéens de ce Diploxylon sont extrêmement saillants. L'épaisseur de l'anneau formé par le bois primaire est d'environ 29 rangées d'éléments. La fig. 4 qui ne montre qu'une partie seulement du bois secondaire permet d'en compter déjà 133 rangs. Naturellement, sous l'influence des idées régnantes à cette époque, Corda plaçait son Diploxylon dans une autre famille que le Lomatofloyos ; tandis qu'il rangeait le premier dans les Diploxylées il mettait le second dans ses Sagénariées, les unes et les autres étant considérées comme des restes de plantes Mono ou Dicotyledonées.

6. — Unger avait dans sa collection deux sections transversales successives de l'échantillon type du *Lepidodendron Hartcourtii*, et ses coupes étaient raccordables à celle qu'a étudiée Brongniart. Bien que Unger ait certainement étudié ses coupes, il ne paraît pas en avoir fait l'objet d'une description spéciale. En 1856, le célèbre paléobotaniste autrichien décrivit et figura deux espèces de Lépidodendrons à bois primaire annulaire et à pointements trachéens saillants, par conséquent voisins du *Lepidodendron Hartcourtii*. Ces deux plantes, qui proviennent des schistes à cypridines de Saalfeld, ont reçu les noms de *Lepidodendron nothum* et de *Lepidodendron Richteri* (2), Devant consacrer prochainement un article spécial au *Lepidodendron nothum*, j'exposerai par comparaison, dans ce travail, les indications que cette espèce a fournies. Quant au *Lepidodendron Richteri*, Unger ne lui a consacré que

(1) D'après la fig. 2 pl. 10, le grand diamètre de la masse des fibres primitives = $23^{mm},5$, le grand diamètre de la couronne vasculaire primaire = 30^{mm}, le grand diamètre de la couronne ligneuse secondaire = 55^{mm}, l'épaisseur du bois primaire = $3^{mm},5$ l'épaisseur du bois secondaire = 12^{mm}.

(2) R. Richter et Fr. Unger. Beiträg zur Paläontologie des Thüringer Waldes, 2me partie, Wien, 1856.

quelques lignes (l. c., p, 90 et 91) et une seule figure d'ensemble grossie 3 fois. Dans cette espèce la couronne vasculaire est relativement très épaisse, avec 30 cannelures marginales. L'écorce interne est extrêmement mince, partiellement détruite; l'écorce moyenne est très épaisse. Les sections des pièces sortantes y figurent 15 spires à concavité dextre et 15 à concavité senestre, contenant chacune 3 ou 4 termes. Je compte 48 ou 49 traces foliaires dans cette région, c'est un nombre sensiblement plus élevé que celui que nous trouvons dans le *Lepidodendron Hartcourtii* et cela bien que le diamètre de l'échantillon de *L. Richteri* soit sensiblement plus petit, 33^{mm} au lieu de 42^{mm} (1).

Pour suivre l'ordre chronologique des publications qui se sont occupées du *Lepidodendron Hartcourtii* en apportant à la connaissance de cette plante des données nouvelles, il conviendrait d'étudier maintenant les figures et les descriptions que M. Williamson a données de cette espèce dans la deuxième partie de ses « *On the Organisation of fossil Plants of the Coal measures* », lue à la Société royale de Londres, le 15 juin 1871. Cependant, pour ne pas disperser en divers articles le résumé des belles recherches du grand paléontologiste anglais, j'étudierai tous ses travaux dans un seul paragraphe, après ceux de Binney, qui s'étendent sur une moins longue période. Aussi bien ai-je peu de regrets de rompre ici la chronologie régulière, la plante décrite en 1871 par M. Williamson comme *L. Hartcourtii* ayant été reconnue depuis comme *Lepidodendron fuliginosum*. Par conséquent, ce que M. Williamson a dit du *Lepidodendron Hartcourtii* en 1871 doit se lire, comme il le recommandait déjà, « Description d'un Lépidodendron du type *Hartcourtii*, mais non description du véritable *Lepidodendron Hartcourtii* ».

(1) Ces mesures se rapportent au grand diamètre des échantillons limités à la surface de l'écorce moyenne.

7. — BINNEY s'est occupé du *Lepidodendron Hartcourtii* dans la IIme et surtout dans la IIIme partie de ses « *Observations on the structure of fossil Plants found in the Carboniferous strata* » (1). Cependant j'ai dit p. 2 que l'échantillon type du *Lepidodendron Hartcourtii* paraît avoir été le seul échantillon connu jusqu'à l'époque toute récente où M. Williamson et ses collaborateurs l'ont retrouvé. Binney ne l'aurait donc pas observé, bien qu'il décrive sous ce nom deux échantillons, l'un nos 31 et 18, trouvé par M. Dawes à Dudley, l'autre, échantillon n° 32, trouvé par lui-même à Hady près Chesterfield. Je ne puis séparer de ces spécimens l'échantillon n° 34 trouvé également à Dudley par M. Dawes et qui se distinguait des deux autres par ses tubercules ou mamelons haloniens. Binney a décrit ce dernier spécimen comme un *Halonia regularis*, le regardant comme une racine, malgré ses pièces sortantes, qui sont manifestement des traces foliaires. Les figures publiées par Binney ont été dessinées et lithographiées par un artiste incomparable, J. N. Fitch. Elles sont d'une exactitude et d'un fini merveilleux.

Tout d'abord se pose la question de savoir à quelle espèce Binney a t-il eu à faire? Est-ce au *Lepidodendron Hartcourtii* comme il le croyait, ou bien au *Lepidodendron fuliginosum* comme le pense M. Williamson? Il ne m'est pas possible de donner une réponse pour l'échantillon de Hady (Echantillon n° 32) qui est un fragment de stipe dans lequel la masse libéro-ligneuse vient de se dichotomiser en deux portions sensiblement égales et encore largement ouvertes. Comme le remarque très bien Binney, il s'agit là d'une ramification dichotome régulière qui indique pour la plante cette façon ordinaire de se ramifier (2), excluant du même coup toute idée de

(1) Partie II, 1871, et partie III, 1872, sont des volumes de la *Paleontographical Society* pour 1870 et 1871.

(2). La ramification dichotomique ne donnait peut-être pas toujours deux branches également fortes dans toute l'étendue de la plante.

ramification axillaire. Cet échantillon portait encore ses coussinets. Il mesurait 77^{mm} de diamètre sur 17^{mm} de hauteur, malheureusement sa conservation intérieure laissait beaucoup à désirer. Sur la section transversale on ne voit aucune trace foliaire, le liber et l'écorce interne ont disparu. Il n'y a pas de bois secondaire. Les régions polaires sont frustes. Il n'est donc pas possible de se prononcer sur la spécification de cet échantillon. Si la remarque de M. Williamson sur la dichotomie inégale que présenterait ordinairement le *Lepidodendron Hartcourtii* se confirme, ce serait un caractère pour attribuer ce spécimen au *Lepidodendron fuliginosum*, mais c'est là un caractère bien faible, et dont la valeur doit être confirmée.

L'échantillon n° 31, 18 (1) était égaré quand Binney en décrivît les préparations. Celles-ci se rapportent également à un stipe en voie de dichotomie. Les deux masses libéro-ligneuses sont légèrement inégales ; l'une et l'autre sont déjà refermées. La dichotomie était donc très avancée. On voit même la partie interne de l'écorce moyenne s'infléchir fortement vers l'ancien centre de figure en entraînant la surface externe. Il est manifeste que la séparation des branches se faisait dans cette dépression. Malgré l'absence de productions libéro-ligneuses secondaires, je pense, comme M. Williamson, que ce spécimen appartient non au *Lepidodendron Hartcourtii* mais au *Lepidodendron fuliginosum*. En effet, le liber est entouré par une zone dont l'agencement radial et tangentiel est très fortement accusé. Cette zone est particulièrement épaisse autour de la masse de droite, beaucoup plus faible autour de la masse de gauche, sans que l'écrasement partiel de celle-ci suffise à rendre compte de cette différence. Or le *Lepidodendron fuliginosum* a toujours une grande tendance à sérier ainsi radialement les éléments circumlibériens de son écorce interne. Comme dans

(1) L'échantillon 31 de la IIIe partie des Mémoires de Binney est le même que l'échantillon 18 de la IIe partie dont il a fourni la fig. 6, pl. VII.

cette espèce, toute l'écorce interne dense est conservée, les traces foliaires adhèrent solidement à cette écorce interne. Ici aussi la plupart des sorties ne se détachent sur le fond général de l'écorce interne que lorsqu'elles sont entourées d'une zone radiée par rapport à elles qui leur forme comme un étui particulier. L'écorce interne ne montre que 28 pièces sortantes dépendant directement de la masse libéro-ligneuse de droite. 14 de ces sorties sont encore engagées dans la zone rayonnée, circumlibérienne. Le liber contient 40 traces foliaires. Il est impossible de reconnaître sur la figure les spires formées par les sections des traces foliaires, comme c'est fréquemment le cas du *Lepidodendron fuliginosum*. La section transversale de la trace foliaire prise dans l'écorce interne et représentée fig. 5, Pl. XIII, est bien celle du *Lepidodendron fuliginosum* (1). Les régions polaires des masses libéro-ligneuses centrales sont obtuses, le mode de groupement que je signalerai plus loin chez le *L. Hartcourtii* n'est pas reconnaissable ici sauf dans quelques points. Cependant on devrait avoir dans cet exemple des régions polaires exceptionnellement grandes à cause de la conservation du liber et de l'écartement de la zone corticale interne rayonnée. Tous ces caractères sont au contraire ceux du *Lepidodendron fuliginosum*. Je crois donc qu'il s'agit bien ici d'un spécimen de *Lepidodendron fuliginosum* qui n'avait pas encore de bois secondaire. L'assise subéreuse a disparu sur la section transversale, fig. 1 et 6. Elle est au contraire visible sur les sections radiales, fig. 2 et 4. La périphérie du liège et à plus forte raison les tissus des coussinets sont très abîmés.

(1) Je n'ai pas cru devoir me servir ici du caractère macroscopique tiré de l'aspect de la section de la trace foliaire. D'après M. Williamson ces traces seraient indiquées par deux points noirs chez le *Lepidodendron Hartcourtii* et par un seul point chez le *Lepidodendron fulginosum*. La figure de Binney indique bien les traces foliaires par un seul point noir, mais comme ce caractère ne repose que sur l'isolement relatif, pendant la macération des échantillons, du bois et des tubes laticifères, qui existent chez les deux espèces, je crois qu'il faut être extrêmement réservé dans son emploi.

L'échantillon 34 qui provient de la même localité diffère du précédent par quelques points, et en même temps se rapproche davantage du *Lepidodendron Hartcourtii*. Il s'agit d'un stipe avec tubercules ou mamelons haloniens, c'est-à-dire d'un rameau se ramifiant par une série de dichotomies à branches inégales dont les branches faibles demeuraient courtes au moins au début. D'où un axe sympodique portant à sa surface de gros mamelons plus ou moins régulièrement disposés. Ce caractère se rencontre bien chez l'*Halonia regularis* type, comme on le voit sur les figures des échantillons 35, 36, 37, mais ce caractère n'est pas exclusivement propre aux Halonias. On le trouve chez de nombreux Lépidodendrons et d'après M. Williamson (1), le *Lepidodendron Hartcourtii* l'aurait possédé à un très haut degré. La présence de tubercules haloniens ne suffit donc pas pour faire d'un échantillon un *Halonia*, et comme la structure de cet échantillon 34 est toute différente de celle des échantillons 35, 36, 37, lesquels sont, au contraire, parfaitement concordants entre eux, j'en sépare complètement cet échantillon 34 et je vais l'examiner au point de vue de ses rapports avec le *Lepidodendron Hartcourtii*, et le *Lepidodendron fuligisosum*. Dans ce spécimen, l'écorce interne est très épaisse, sa zone circumlibérienne rayonnée est au contraire très mince, cette zone existe cependant comme le montrent les sections radiales fig. 3 et 2 (2). Le diamètre de la masse libéro-ligneuse est plus grand que dans l'échantillon 31 ; sa figure d'ensemble est une ellipse disymétrique fortement déformée à gauche. C'est la proximité immédiate d'une dichotomie inégale qui détermine ce faciès. On ne voit aucune trace de tissu ligneux secondaire. La très grande épaisseur du tissu cortical interne, les nom-

(1) Williamson, XVIe Partie, fig. 1. 2. 3. 4. 5. 6.

(2) Il convient pour la lecture de cette fig. 2, pl. 15 de replacer son axe verticalement par *une rotation de 13 à 14° vers la droite et non par une rotation de 166° vers la gauche*, comme le demande Binney dans l'hypothèse qu'il s'agit d'une racine émettant des radicelles.

breuses séries de sorties qu'il contient (1) sont des caractères du *L. Harcourtii* qui tendent à le différencier du *Lepidodendron fuliginosum*. Il en est encore de même de la faible courbure des traces foliaires dans la traversée de l'écorce interne; de la différence plus tranchée que l'on constate entre l'écorce moyenne et l'écorce interne; du nombre relativement élevé de traces foliaires qui traversent simultanément l'écorce moyenne. En opposition avec ces faits qui s'accordent mieux avec le *Lepidodendron Hartcourtii*, la section de la pièce sortante qui a été représentée fig. 4 pl. XV est une section de trace foliaire de *Lepidodendron fuliginosum*, prise dans la partie profonde de l'écorce moyenne (2). Si donc il n'est pas impossible que Binney ait eut dans cet échantillon un *Lepidodendron Hartcourtii*, le spécimen montre en effet certains caractères de cette espèce, y compris les bifurcations inégales qui se traduisent par les tubercules haloniens, il est non moins certain qu'il présente des caractères propres au *Lepidodendron fuliginosum*. La limite entre les deux espèces est bien difficile à tracer surtout à ce stade de développement. Pour le moment je ne vois persister qu'un bien petit caractère différentiel entre les deux espèces, d'habitude à ce stade le *Lepidodendron fuliginosum* montre des productions libéro-ligneuses secondaires dont on retrouverait au moins une indication sur la figure de Binney, si elles existaient dans ce spécimen. C'est à coup sûr de tous les échantillons de Binney celui qui se rapproche le plus du

(1) Dans une demi-circonférence, je compte de 9 à 10 spires comprenant chacune de 5 à 7 sorties, or le *Lepidodendron Hartcourtii* présente 19 de ces spires, sur une circonférence entière. Ce nombre est variable chez le *Lepidodendron fuliginosum*, il peut y tomber à 9.

(2) Dans cette trace foliaire, en effet, le bois paraît former deux rangées de grands éléments égaux. Les laticifères sont extrêmement nombreux et groupés en un arc plus épais. Les éléments libériens réguliers sont moins nombreux et très gros. La gaine qui délimite la sortie est mal caractérisée. Le tissu qui accompagne la trace dans sa partie postérieure existe et a de plus le faciès particulier du tissu homologue du *L. fuliginosum*.

Lepidodendron Harcourtii et il m'était impossible de ne pas signaler ce doute dans un travail comme celui-ci. Ce rapprochement, toutefois, n'est qu'incomplet, il laisse subsister certaines petites différences ; en particulier, si on se bornait à recourir aux deux caractères empiriques tirés de la persistance de l'écorce interne et de l'indication des pièces sortantes par un seul point, on rapporterait ce spécimen au *Lepidodendron fuliginosum.*

8. — Etudions maintenant l'œuvre de M. WILLIAMSON. Le célèbre professeur d'Owen's Collège est l'auteur qui s'est le plus occupé du *Lepidodendron Hartcourtii.* Mon savant collègue de Manchester a eu la bonne fortune d'obtenir de ses collaborateurs de nouveaux échantillons, il a pu étudier les échantillons types de Vernon Hartcourt en même temps qu'il avait occasion d'examiner un grand nombre de spécimens du *Lepidodendron fuliginosum.* C'est dans les fascicules II, III, IX, X, XI, XII, XVI de ses remarquables « *On the organisation of the fossil Plants of the Coal Measures* » qu'il a plus spécialement résumé ses observations sur ce sujet. Il convient aussi de tenir grand compte d'une petite note parue dans les *Proceedings* de la Société royale de Londres, séance du 27 novembre 1886 (1).

Je ne pourrais, sans tomber dans des répétitions, suivre l'ordre chronologique dans l'exposé des observations de M. Williamson. Je laisserai d'ailleurs de côté tout ce qui n'est que discussion pour m'attacher exclusivement aux faits établis. J'étudierai tout d'abord le XIe mémoire qui date de Juin 1880.

Dans ce travail M. Williamson oppose l'une à l'autre la structure du *Lepidodendron Hartcourtii* et celle de la plante lépidendroïde qu'il nomme *Lepidodendron Selaginoïdes.* Après

(1) W. C. Williamson. Note on *Lepidodendron Hartcourtii* and *L. fuliginosum Proceedings of the Royal Society,* vol. 42. Article reçu le 27 Novembre 1886.

avoir exposé et figuré le *Lepidodendron Selaginoïdes*, il expose et figure l'organisation du *Lepidodendron Hartcourtii*. Il faut entendre par là, non le *L. Hartcourtii* type, mais des Lépidodendrons du type *Hartcourtii*. En effet, dans sa note du 27 novembre 1886, puis dans son XVIe mémoire, M. Williamson a déclaré que les spécimens étudiés dans sa XIe partie appartiennent partiellement au *Lepidodendron fuliginosum* en même temps qu'au *Lepidodendron Hartcourtii* type. M. de Solms-Laubach, dans son « *Einleitung in die Paläophytologie* » a confirmé la déclaration de M. Williamson. Malgré cette petite incertitude sur la spécification des échantillons examinés dans ce travail, je ne puis, comme on va le voir, laisser de côté ce qui se rapporte soit à l'un soit à l'autre de ces spécimens. Nous étudierons tout particulièrement les figures 9, 10, 11 et 12 de ce XIe mémoire (1).

La fig. 9 est une section transversale d'un rameau supérieur de *Lepidodendron Hartcourtii* mesurant 1^p^ ¼ de diamètre ou 40^mm^. Ce spécimen a été trouvé par M. Aitken d'Urmston. *La surface de ce stipe est intacte et montre ses coussinets pourvus de leur épiderme.* Toutes les régions de l'écorce sont représentées, l'assise subéreuse est seulement à son début, l'écorce interne est décollée de l'écorce moyenne. A droite de la figure l'écorce interne est très abîmée. La masse libéro-ligneuse est bifurquée en deux pièces très inégales, celle qui occupe le haut de la figure, très faible par rapport à l'autre, n'est représentée que par un petit arc. Il s'agit donc là d'une branche plus grêle que le spécimen princeps, branche qui montre une ramification dichotomique inégale. D'après la figure les dimensions des diverses régions sont représentées par les nombres suivants :

(1) Des figures de M. Williamson comme de celles de M. B. Renault, on peut en effet faire ce rare et bel éloge que toutes les indications qui y sont représentées existent sur la préparation figurée. On pourra ne point accepter certaines interprétations de ces auteurs mais leurs observations sont d'une exactitude remarquable.

Grand diamètre vertical, *coussinets compris*	40,0	Diamètre horizontal correspondant	34,6
Grand diamètre de la zone subéreuse	28,6	Diamètre horizontal correspondant	24,6
Grand diamètre de la cavité limitée par l'écorce moyenne	20,9	Diamètre horizontal correspondant	16,9
Grand diamètre de la masse libéro-ligneuse y compris la gaine rayonnée entourante	7,9	Diamètre horizontal correspondant	6,1
Grand diamètre de la couronne ligneuse	6,0	Diamètre horizontal correspondant	4,2
Grand diamètre de la masse centrale de fibres primitives	3,8	Diamètre horizontal correspondant	2,1

La masse libéro-ligneuse est une ellipse, dont le grand axe est placé verticalement sur la figure. Vers le haut on voit l'entaille correspondant à l'isolement d'un arc et cet arc lui-même est situé un peu au-dessus, dans l'écorce interne. La zone vasculaire est très épaisse. On y soupçonne seulement de nombreux pointements entre lesquels sont des sorties. J'en compte 18 bien visibles au voisinage des pôles. Le liber n'est pas délimitable. D'après la figure le bois est tapissé extérieurement par une couche noire, trop épaisse pour être à elle seule le liber, à moins qu'il ne s'agisse d'une région atteinte d'une *roulure grave*. Cette couche doit comprendre le liber et la zone rayonnée de l'écorce interne. Cette même zone noire tapisse la face externe de l'arc qui se rend à la branche faible, elle s'avance même légèrement sur sa face interne. La structure de cette zone n'est pas discernable sur la figure. Quelques-unes des petites taches blanches enfermées dans son épaisseur représentent des traces foliaires peu reconnaissables. Dans les lambeaux conservés de l'écorce interne on distingue quatre pièces sortantes qui paraissent y former un système concentrique. C'est là un dispositif extraordinaire pour les sorties du *Lepidodendron Hartcourtii*, mais qui est peut-être provoqué par la dichotomie. On le voit se répéter pour les quatre sorties de gauche de la zone corticale moyenne, ce n'est donc pas là un

simple fait accidentel. Sur cette figure, que M. Williamson rapporte au véritable *Lepidodendron Hartcourtii*, peut-être à cause de sa dichotomie inégale, l'écorce interne paraît très dense et les deux points noirs de chaque sortie ne sont pas reconnaissables. Les sorties sont peu nombreuses, la forme de la pièce sortante dans le coussinet, et la manière dont elle aborde la périphérie ressemblent singulièrement à ce que l'on voit chez le *Lepidodendron fuliginosum*. On pourrait donc se demander si cet échantillon n'appartient pas à cette espèce. On comprendra que la grande autorité de M. Williamson me fasse hésiter à conclure dans ce sens en l'absence d'une étude directe de l'échantillon, mais je ne puis accepter l'attribution de cette préparation au *Lepidodendron Hartcourtii* sans faire quelques réserves.

La fig. 10 représente la section transversale de la masse libéro-ligneuse d'un stipe de *Lepidodendron Hartcourtii* dit l'explication des planches. Cette détermination spécifique a été rectifiée par M. Williamson dans sa note de 1886, et pour mon savant collègue, ce spécimen appartient maintenant au *Lepidodendron fuliginosum*. Comme cette figure est la meilleure et la plus complète qu'on possède de la masse libéro-ligneuse des Lépidodendrons du type *Hartcourtii* je dois l'examiner de près, même en acceptant la dernière spécification proposée. Le liber très abîmé et un lambeau d'écorce interne tiennent à la couronne libéro-ligneuse, ou n'en sont séparés que par une déchirure accidentelle. L'anneau vasculaire complet présente des pointements trachéens très saillants (1) inégaux, inégalement distants, simples ou plus rarement doubles, dans l'agencement desquels je reconnais le même dispositif que chez le *Lepidodendron Hartcourtii* type. Je compte de 59 à 62 pointements en tenant compte des moindres émergences trachéennes. Les pièces sortantes sont inégales et présentent aussi des

(1) Les pointements trachéens sont particulièrement saillants dans cette figure s'il s'agit du *Lepidodendron fuliginosum*.

variations de formes en harmonie avec les variations de la trace foliaire du *Lepidendron Hartcourtii*. Sauf vers le bas de la figure, le liber assez épais est abîmé dans sa région périphérique. Sa limite externe ne peut être indiquée. M. Williamson signale vers cet endroit de grandes cellules qui correspondent peut-être à des laticifères hypertrophiés que nous verrons exister chez le *Lepidodendron Hartcourtii* intérieurement à la gaîne et tout près de celle-ci. La gaîne protectrice (gaîne casparyenne) n'est pas reconnaissable. Je suis obligé d'admettre, sur cette figure, que la zone radiotangentielle (ou zone rayonnée) qui vient après la gaîne, est externe par rapport à celle-ci, et qu'elle appartient au tissu cortical interne. Il en est bien ainsi dans certains échantillons du *Lepidodendron fuliginosum*. Je ne l'ai pas retrouvée avec la même netteté dans les spécimens du *Lepidodendron Hartcourtii*. Cette zone radiotangentielle n'est-elle qu'un dispositif provoqué par de nombreuses sorties qui déterminent une sorte d'orientation générale des éléments dans cette région ? N'a-t-elle pas plutôt la valeur d'un tissu secondaire ? Il est certain que cette dernière attribution s'impose parfois avec beaucoup de force (1). On dirait quelquefois qu'il y a eu là comme un étirement radial accompagné de recloisonnements radiaux puis tangentiels. La présence en ce point d'un tissu tardif a quelque intérêt, parce qu'elle nous indique des tiraillements dans le voisinage immédiat de la masse libéro-ligneuse. — Dans le petit lambeau de tissu cortical représenté, nous voyons quatre sorties; les deux internes excessivement obliques, les deux externes beaucoup moins obliques, l'une d'elles est même coupée presque transversalement (2). L'orientation des éléments voisins par

(1) Tous les tissus corticaux du *Lepidodendron fuliginosum* paraissent avoir possédé à un très haut degré la faculté de se recloisonner.

(2) On retrouve cette obliquité sur la section radiale de l'échantillon 31 de Binney. Elle est moindre dans l'échantillon 34 du même auteur. Elle est encore plus faible dans l'échantillon type du *Lepidodendron Hartcourtii*, et sous ce rapport, on est surpris de la courbure rapide assignée par Lindley, puis par Brongniart, aux traces foliaires dans leur traversée de l'écorce interne.

rapport à ces sorties est remarquablement faible pour un *Lepidodendron fuliginosum*. On ne peut dire si la trace est indiquée par un point simple ou par deux points. La masse de fibres primitives centrales est déchirée de manière à en rejeter les lambeaux contre la face interne du cercle vasculaire. Au total cet échantillon appartient très probablement au *Lepidodendron fuliginosum*, mais il offre certains caractères du *Lepidodendron Hartcourtii*. Ainsi les pôles fortement saillants, l'absence de productions libéro-ligneuses secondaires, l'absence d'étui autour des traces foliaires dans la traversée de l'écorce, sont des caractères qui se trouvent chez le *Lepidodendron Hartcourtii*, tandis que la grande densité du tissu cortical interne, sa zone radiotangentielle et l'absence du double point pour indiquer les sorties, sont des caractères du *Lepidodendron fuliginosum* (1).

La figure 12 est la section transversale de la masse libéro-ligneuse d'une faible branche de *Lepidodendron Hartcourtii* quand elle s'éloigne de la masse principale et devient autonome. Le bois a repris sa forme annulaire, mais cet anneau est très mal délimité aussi bien à sa face externe, où les pointements se soupçonnent à peine, qu'à sa face interne, où les vaisseaux scalariformes, à peine plus gros que les fibres primitives, semblent venir se mêler à celles-ci. Le liber et la zone rayonnée forment une épaisse couche noire, à contour vaguement hexagonal, avec de grosses masses sortantes placées aux angles. Dans la partie plus externe du tissu cortical interne, on voit cinq sorties. Il est extrêmement regrettable que l'obscurité de la préparation ne permette pas d'en tirer un meilleur parti.

La figure 11 a une importance capitale. Si on la rapporte au *Lepidodendron Hartcourtii* comme l'avait d'abord indiqué

(1) Tous ces caractères, tant ceux cités pour le *Lepidodendron Hartcourtii* que ceux cités pour le *Lepidodendron fuliginosum*, sont loin d'avoir une constance absolue.

M. Williamson, elle prouve incontestablement que dans cette espèce il peut y avoir des productions libéro-ligneuses secondaires. En la rapportant au *Lepidodendron fuliginosum*, comme M. Williamson le fait dans son XVIe Mémoire, non seulement elle montre que cette espèce pouvait acquérir des productions libéro-ligneuses secondaires, ce qui se voit beaucoup mieux sur d'autres spécimens, mais elle nous fait prévoir la véritable signification de ces productions secondaires dans cette espèce. Cette figure 11 représente un arc d'environ 38° (1) pris dans la zone profonde de l'écorce interne et dans le liber avoisinant. Le liber tient à l'écorce. Le centre de figure est à gauche. La limite du liber et de l'écorce interne doit être placée en dehors des laticifères hypertrophiés marqués *b*, *b* et tout près de ces éléments. La gaîne protectrice qui (existe?) en ce point n'est pas reconnaissable sur la figure. A la face interne de cet arc on reconnaît des fibres ligneuses secondaires radiales, soit agglomérées, soit isolées. D'après M. Williamson, *la structure de ce bois secondaire est analogue à celle du bois secondaire du Lepidodendron intermedium.* (Partie XVI, fig. 16 et 17). Pour moi cet arc représente une production de tissus tardifs ayant à un très haut degré un caractère accidentel, et développée au voisinage de la couronne vasculaire primaire, soit immédiatement contre elle, *soit à une petite distance de celle-ci* (2). La plante avait été légèrement blessée par une roulure, comme celles que nous voyons si fréquemment dans le bois secondaire des plantes houillères (3), et c'est sous cette influence que les productions

(1) Cet arc est, en effet, un peu plus grand que celui qui sépare trois pointements trachéens doubles consécutifs.

(2) Quelques fibres primitives, au plus l'épaisseur d'une pièce sortante, séparent les tissus libéro-ligneux secondaires du bois primaire.

(3) Le bois primaire n'aurait-il pas été envahi en face de cet arc par des parasites, d'où la tendance à former une sorte de sequestre? Je ne le crois pas. Il se pourrait cependant qu'on trouvât des myceliums de champignons dans le bois primaire dont l'introduction se serait faite lorsque l'échantillon était déjà à l'état de tourbe. Il ne faudrait pas confondre ce champignon vivant sur la tourbe demi-sèche avec un endophyte.

secondaires se sont établies, soit immédiatement contre la couronne vasculaire, soit à une petite distance de celle-ci ; en tous cas, dans la partie interne de la couronne libérienne primaire. Il est extrêmement regrettable que la figure ne permette pas de voir la position exacte du contour du bois primaire et l'état de ses régions polaires par rapport à ces productions libéro-ligneuses tardives. Elles-mêmes consistent en une plage de tissu fondamental secondaire (1) à agencement radial et tangentiel. C'est dans ce tissu que sont noyées les files de fibres ligneuses secondaires. Le cambium est à l'extérieur des files, sur le même rang que le cambiforme. Le liber secondaire correspondant à chaque file n'est pas reconnaissable. Les files ligneuses secondaires sont isolées ou agglomérées en cordon mais sans former de faisceaux secondaires bien nets (2). L'arc de tissu tardif paraît aller en diminuant d'épaisseur vers ses deux extrémités, surtout à droite. (3) Deux pièces sortantes (4) traversent l'arc secondaire vers ses extrémités ; l'une d'elles paraît le limiter d'un côté. Comme il existe tout une série de transitions entre ce faciès des productions secondaires du *Lepidodendron fuliginosum* et celui des productions secondaires du *Lepidodendron selaginoïdes* et des espèces affines nous voyons comme conséquence que les productions libéro-ligneuses secondaires des Lépidodendrons sont très analogues aux tissus des roulures et ne sont peut-être que des tissus de roulures généralisés et passés en quelque sorte à l'état d'ha-

(1) Ou au plus de parenchyme ligneux secondaire.

(2) Histologiquement, ce bois secondaire a exactement la structure d'un bois de roulure.

(3) La droite pour un observateur central est placée vers le bas de la figure.

(4) Il convient de remarquer que ces pièces sortantes sont encore à l'état d'ellipses à grand axe radial, avec trachées centrales ou à peine rapprochées du foyer extérieur. Le grand volume de ces sorties et leur dispositif à ce niveau où elles devraient être elliptiques à grand axe tangentiel fait prévoir qu'elles ont été déplacées pendant la cicatrisation (5), (6).

(5) Les pièces sortantes sont représentées ici uniquement par leur bois.

(6) La pièce sortante qu'on voit engagée dans l'écorce interne est certainement très déformée. Cette déformation s'est produite du vivant de la plante.

bitude chez certaines espèces. C'est cet échantillon qui a montré le premier la possibilité de productions libéro-ligneuses secondaires dans les Lépidodendrons du type *Hartcourtii* et, d'après la première détermination spécifique qui avait été faite, dans le *Lepidodendron Hartcourtii* même. M. Williamson y a renvoyé à plusieurs reprises, il en est de même de M. de Solms, mais mes savants collègues reconnaîtront avec moi, qu'à moins d'avoir pu étudier personnellement et d'une manière très approfondie, des échantillons identiques aux leurs, il était bien difficile, sur la seule figure publiée, d'apprécier l'exactitude de leur description. Eux-mêmes, d'ailleurs, n'ont pas reconnu la nature si spéciale de ces tissus libéro-ligneux secondaires.

Antérieurement, M. Williamson avait signalé (Partie II, fig. 14) des éléments ligneux secondaires dans un autre spécimen de *Lepidodendron (Hartcourtii ?)* Dans cette figure l'illustre professeur de Manchester me paraît avoir interprété de la sorte les éléments grêles les plus externes de la couronne vasculaire. Toutefois, comme il s'agit ici d'une coupe radiale je ne puis me prononcer complètement. J'admettrais presque plus volontiers qu'il s'agit de cordons ligneux sortants ou de pointements polaires. La partie droite de la figure est d'accord avec cette manière de comprendre la coupe. Il en est de même de la région *d* sur la fig. 14. Le tissu désigné par cette lettre représente bien plutôt des régions polaires avec sorties intercalées, que du bois secondaire. Cependant, comme il s'agit, je crois, dans cet échantillon, d'un *Lepidodendron fuliginosum*, à cause de la faible épaisseur de l'écorce interne et de la manière dont les traces foliaires la traversent ; il se pourrait aussi qu'on eût eu affaire à la zone rayonnée de l'écorce interne. L'état des pièces sortantes s'accorde mal avec cette dernière interprétation, Il convient de signaler encore la figure 26, Partie II, qui représente l'ensemble de la masse libéro-ligneuse d'un *Ulodendron* trouvé par M. Nield. Cette section montre en bas et à gauche

de la couronne vasculaire primaire quelques éléments fins, qui, d'après M. Williamson, seraient une trace de tissu ligneux secondaire. Là encore, je crois qu'on a affaire aux éléments périphériques du bois primaire ou à des cordons ligneux sortants (1).

Cette étude du *Lepidodendron Hartcourtii* par M. Williamson (2) ou plutôt du *Lepidodendron Hartcourtii* et du *Lepidodendron fuliginosum* était opposée à celle du *Lepidodendron selaginoïdes*, M. Williamson voulait établir que, contrairement à l'opinion de M. Renault, les Lépidodendrons pouvaient avoir des productions secondaires. Il est bien regrettable que les figures du spécimen de *Lepidodendron fuliginosum* qui a fourni la fig. 11 n'aient pas été multipliées davantage. Je me garde bien de dire plus nettes. La conservation et les tiraillements subis par les tissus de la plante de son vivant ne s'y prêtaient pas. Ces figures eussent fourni de bien précieuses indications sur la valeur du bois secondaire chez les Lépidodendrons. Y a-t-il dans tout cela de quoi justifier le rapprochement des Sigillaires et des Lépidodendrons. Je n'hésite pas à répondre négativement. Sans doute la présence de productions libéro-ligneuses secondaires chez les Lépidodendrons du type *Hartcourtii* conduit à abandonner un caractère employé par Brongniart, mais les grandes différences anatomiques qui existent entre Sigillaires et Lépidodendrons ne résident pas dans les productions secondaires comme j'aurai occasion de le montrer.

La possibilité de rencontrer dans le *Lepidodendron fuligi-*

(1) Dans l'exposé que je donne de ces premières observations de M. Williamson, je n'apporte aucune idée critique ; j'admire trop profondément la sagacité des phytopaléontologistes, qui, presque sans guides, avec une anatomie végétale à peine esquissée, ont su tirer de leurs préparations toutes les indications capitales, que nous ont fourni, chacun de leur côté, M. Renault et M. Williamson, pour me permettre de relever dans leur œuvre ce qui serait une vétille.

(2) Partie XI.

nosum, et par suite dans le *Lepidodendron Hartcourtii,* des productions libéro-ligneuses secondaires, *mêmes tardives,* me conduit à étudier maintenant les plantes *diploxyloïdes,* c'est-à-dire les plantes qui, avec un extérieur *Lépidendroïde,* présentent à un moment donné, autour d'un anneau vasculaire primaire analogue à celui du *Lepidodendron Hartcourtii,* une zone plus ou moins épaisse de tissus libéro-ligneux secondaires. Les recherches de M. Williamson sur les plantes diploxyloïdes sont consignées dans la IIIme et dans la Xme Parties de ses Mémoires. Il y a consacré des articles moins étendus dans la IIme et dans la XVIme Parties.

Dans la IIIme Partie comme dans la Xme, comme encore dans la XVIme, à propos du *Lepidodendron mundum,* se pose la question : « La série des figures publiées se rapporte-t-elle bien aux rameaux d'une même plante qui, lepidendroïdes dans le jeune âge, seraient devenus diploxyloïdes à un âge plus avancé? » Est-on bien, en un mot, en présence des différents stades de développement d'un même rameau. Il faut bien le reconnaître, la preuve manque au même point pour le *Diploxylon* de Burntisland, pour celui d'Arran et pour le *Lepidodendron mundum.* Les figures 1 et 2 de la IIIme Partie proviennent d'une même plante lépidendroïde de Burntisland (1). Ce sont des sections transversales de rameaux très grêles. La fig. 2 se rapporte à un très petit stipe terminal dont les frondes sont disposées suivant un cycle $\frac{2}{5}$. La fig. 1 se rapporte à un stipe plus gros coupé dans le voisinage d'une

(1) Cette plante lépidendroïde est déterminée telle et par la forme de ses coussinets foliaires et par son bois primaire en couronne annulaire (2).

(2) Dans une petite note intitulée : General, Morphological and Histological Index to the Author's Collective Memoirs on the Fossil Plants of the Coal Measure, Partie I, in-8, Manchester 1891, que j'ai reçue de M. Williamson pendant l'impression de ce travail ; je vois p. 6 que mon savant collègue propose de désigner le Lépidendroïde de Burntisland sous le nom de *Lepidodendron brevifolium (forme de Burntisland).*

dichotomie à branches inégales, celle de gauche étant très faible. Dans ces deux exemples la couronne vasculaire est la même. Pour les figures 4 et 8 qui représentent les couronnes ligneuses primaires, la première du rameau fig. 1, la seconde d'un rameau plus gros, on peut encore facilement admettre, sur l'autorité de M. Williamson, la communauté d'origine spécifique. Je l'accepte volontiers, bien que la partie réparatrice de la couronne vasculaire prenne dans la figure 8 une grande épaisseur (1) et que la portion sortante se traduise par des pointements trachéens qu'on ne soupçonne pas dans la fig. 4. Il y a, en effet, de ces différences entre branches inégalement fortes. Il est plus difficile de passer de la fig. 8 à la fig. 9. Cette dernière montre autour de la couronne vasculaire primaire une zone ligneuse secondaire épaisse de 13 à 17 rangs. Entre ces deux figures il existe une véritable lacune. Je sais bien, a priori, que si les productions libéro-ligneuses secondaires existent régulièrement dans la plante lépidendroïde des fig. 1 à 8, ces productions seront placées là où nous les montre la fig. 9, et qu'elles auront le faciès indiqué par cette figure. Mais la preuve ne ressort pas des figures mêmes. Je regrette de ne pas retrouver là la belle série que M. Williamson a donnée pour le *Lepidodendron selaginoïdes* dans sa XIme Partie. Il y a là un point à compléter tant pour l'identification spécifique que pour la démonstration du passage de l'état lépidendroïde à l'état diploxyloïde. Il faudrait, entre les figures 1 et 8 d'une part, et, d'autre part, entre les figures 8 et 9, des états intermédiaires reliés indiscutablement à des coussinets comme ceux de la fig. 1 (2). Bien qu'elle laisse à désirer, la liaison entre les figures 9 et 11 est plus facile. La fig. 11 est une section transversale de la masse ligneuse d'un gros stipe avec productions secondaires épaisses. Dans les

(1) La couronne vasculaire comprend 3 à 5 rangs de grands vaisseaux.
(2) Les états intermédiaires entre les fig. 1 et 8 sont faciles à trouver.

figures 19 et 20, M. Williamson montre deux exemples de dichotomie égale, l'un dans un rameau grêle au stade jeune ou lépidendroïde, fig. 19, l'autre dans un gros rameau diploxyloïde, c'est-à-dire pourvu d'abondantes productions libéro-ligneuses secondaires, fig. 20. Il y a pour moi entre ces fig. 19 et 20 le même desiderata qu'entre les figures 8 et 9. Je sais bien qu'il se pourrait qu'il y eut eu dans cette plante de Burntisland quelque chose d'analogue à ce qu'on voit dans certaines plantes actuelles comme les *Gnetum* (1). Certains rameaux latéraux caducs n'auraient pas pris de productions secondaires alors que les rameaux persistants en acquéraient (2), mais cette possibilité hypothétique ne suffit pas, étant donnée l'importance qu'on a attribuée (à tort selon moi) à la présence ou à l'absence des productions secondaires pour la distinction des Phanérogames et des Cryptogames vasculaires. Il est donc regrettable que l'apparition des productions libéro-ligneuses secondaires dans le Lépidendroïde qui a fourni la fig. 19 ne soit pas donnée par la série des figures.

C'est a peu près dans les mêmes termes que j'aurai à parler de la plante diploxyloïde d'Arran, plante encore innommée qui fait l'objet des premières pages du Xme mémoire de M. Williamson (3). Ce fossile a été trouvé par M. Wunsch dans les gisements de Laggan-Bay. La fig. 1 est la section transversale d'un stipe lépidendroïde à axe libéro-ligneux très grêle, *plein, entouré*

(1) Chez quelques *Gnetum* les rameaux latéraux destinés à rester grêles ou à devenir caducs ne présentent qu'un cercle de faisceaux primaires. Les rameaux destinés à grossir présentent en outre, de bonne heure, des faisceaux secondaires disposés concentriquement autour des premiers. — Les faisceaux primaires possèdent d'ailleurs des productions libéro-ligneuses secondaires.

(2) Etant donnés les exemples de ramification dichotomique égale du lépidendroïde de Burntisland, il est peu probable qu'il eut ainsi deux sortes de rameaux aussi différents que les rameaux latéraux et les rameaux principaux d'un *Gnetum*.

(3) Dans la note (2) citée p. 30, M. Williamson donne le nom de *Lepidodendron Wunschianum* au Lépidendroïde de Laggan-Bay. — (Note ajoutée pendant l'impression).

de très nombreuses pièces sortantes qui s'échappent dans un anneau vide *limité par la zone des coussinets.* Celle-ci montre 5 à 6 coussinets très épais, séparés par des languettes étroites qui sont les prolongements inférieurs des coussinets plus élevés. Le coussinet est caréné et ailé latéralement au lieu d'être arrondi et sans ailes comme ceux du Lépidodendron de M. Nield, qui a été représenté fig. 35, Partie III. Les coussinets du Lépidodendron d'Arran sont très rétrécis dans leur région d'attache. Chacun des grands coussinets contient un cordon libéro-ligneux remarquablement grêle. Les figures 3 et 4 nous montrent les sections d'un stipe plus gros et de sa masse vasculaire. S'agit-il bien de la même plante ? Nous avons dans la fig. 3 un stipe beaucoup plus large dont le bois primaire en anneau épais porte de grands pointements trachéens extérieurs très nombreux. L'épaisseur de la couronne vasculaire, sans tenir compte des pointements trachéens, est de 10 éléments environ. Autour on voit de très nombreuses sorties remarquablement grêles, toutes semblables, à section circulaire. Il n'est certainement pas impossible que les figures 2 et 4 soient celles de masses ligneuses de la même plante, l'une provenant d'une branche grêle, l'autre provenant d'une branche forte, mais il est regrettable que les figures ne portent pas cette preuve avec elles. J'accepterai cependant cette attribution spécifique sous l'autorité de M. Williamson et je m'en servirai plus loin comme d'un fait acquis (1) Mais comment passe-t-on des fig. 3 et 4 à la fig. 5, qui est celle d'un stipe diploxyloïde très large, pourvu d'une zone subéreuse épaisse et d'une zone ligneuse secondaire indiscutable. Le grossissement ⅔ est insuffisant pour permettre une appréciation personnelle. Là encore je souhaiterais voir cette belle série si démonstrative du *Lepidodendron selaginoïdes.* L'écorce interne de la fig. 5 contient de nombreuses sorties. L'écorce

(1) Remarquons pourtant que la forme des coussinets de la fig. 3 est un peu différente de celle des coussinets de la fig. 1.

moyenne est beaucoup plus importante sur la fig. 5 que sur la fig. 3. Il est plus facile de relier la fig. 6 et la fig. 5, bien que la région improprement appelée médullaire sur la fig. 6 soit singulièrement réduite par rapport à celle de la fig. 5. La zone vasculaire primaire avait 23 rangs d'épaisseur. On ne voit pas dans le cercle ligneux secondaire si épais les coins sortants si nets du *Diploxylon cylindricum* (1). Le passage entre les stipes à bois secondaire et les stipes sans bois secondaire fait donc défaut dans l'étude du Diploxylon d'Arran tout comme dans celle du Diploxylon de Burntisland. Ceci est d'autant plus grave pour la plante d'Arran, que le mémoire XII, fig. 21 à 25, nous fait connaître dans le même gisement un *Halonia* à masse vasculaire primaire pleine qui, fout en ayant déjà une couche subéreuse assez épaisse pour faire disparaître les coussinets, n'a pas encore de bois secondaire.

De même il est bien regrettable que dans la série des figures qu'il a consacrées au *Lepidodendron mundum*, M. Williamson nous fasse passer sans transition de l'état lépidendroïde représenté fig. 12 Partie XVI à l'état diploxyloïde dessiné fig. 15. Les deux figures 12 et 15 sont-elles bien empruntées à la même plante? Cela n'est pas évident. La fig. 12 montre un grand cercle vasculaire primaire entourant une masse de fibres primitives dont les plus centrales sont sensiblement plus grandes que les périphériques. On n'y voit pas encore la moindre trace de bois secondaire entre le liber et le bois primaire, alors que la fig. 15 au même grossissement (2) présente un anneau vasculaire primaire beaucoup plus petit, entouré par une zone ligneuse secondaire qui compte *84 rangées d'éléments!* Pour identifier spécifiquement ces deux échantillons. M. Williamson s'appuie sur l'arrangement des vaisseaux ligneux primaires. Ce caractère ne me paraît pas évident sur les figures publiées. Il

(1) Fig. 33 et 34, Partie II.
(2) La fig. 15 Partie XVI est au grossissement de 65 diamètres, la fig. 12 est au grossissement de 66 diamètres.

y a donc là nécessité d'un complément de recherches et d'investigations que je crois devoir provoquer.

M. Williamson s'est encore occupé des plantes diploxyloïdes dans sa IIme Partie, p. 207-209, et plus particulièrement dans les *Observations supplémentaires* qui terminent ce mémoire. Les figures 21, 22, 23 sont tirées d'un *Diploxylon cycadoïdeum* de la collection de M. Butterworth. Les fig. 33 et 34 proviennent d'un *Diploxylon cylindricum* recueilli par M. Nield dans les environs d'Oldham. Enfin la fig. 23 b. serait dessinée d'après une section radiale du bois secondaire du *Diploxylon stigmarioïdeum* (1).

La fig. 21 est un arc de la section transversale d'ensemble d'un stipe diploxyloïde représenté grandeur naturelle. La fig. 22 est une section radiale de la couronne libéro-ligneuse grossie 5 fois. La fig. 23 est une section tangentielle du bois secondaire. La fig. 23 *a* est une section radiale du bois primaire. Sur la fig. 21 l'anneau vasculaire primaire continu, épais, paraît sans pointements bien nets. Le bois secondaire ne paraît pas partagé en coins (ou faisceaux) comme dans la plante de Corda. La fig. 22 n'ajoute que quelques indications sur l'ornementation des faces radiales des fibres ligneuses secondaires. Elles sont rayées. La fig. 23 *a* fait voir des vaisseaux spiralés et des cellules ligneuses. La fig. 23 montre que les fibres ligneuses sont rayées sur leurs faces tangentielles et les rayons par lesquels s'échappent les pièces sortantes (2) (3). Les éléments secondaires ne prennent pas part à la formation des pièces sortantes, comme dans les *Stigmarias*, les *Sigillaires*, les *Lyginodendrons*, les *Heterangium*, les *Poroxylons*.

Les figures 33 et 34 qui proviennent du *Diploxylon cylin-*

(1) Page 220 et dans les figures 54, 55, 56, 57, M. Williamson a décrit et représenté les détails d'une masse subéreuse qu'il suppose avoir appartenu à un *Diploxylon*.

(2) Les grossissements des figures 22 et 23 *a* ne sont pas indiqués.

(3) Ces rayons sont plus larges que les autres, mais ils sont très courts.

dricum montrent une couronne ligneuse primaire continue épaisse, à pointements extérieurs saillants. Ces pointements s'avancent entre les coins mousses formés par le bois secondaire. Ce bois secondaire semble donc divisé en coins qui rappellent les faisceaux unipolaires des tiges. Cet agencement se traduit par un contour festonné du bois primaire et des cannelures *parallèles* de la surface du bois secondaire. Cet agencement est donc autre que celui du *Diploxylon cycadoïdeum* des figures 21, 22, 23, 23 *a*. La pièce sortante indiquée par *m* fig. 34 est dans le plan médian du coin ligneux secondaire qu'elle traverse. Cette pièce sortante est représentée par un triangle de petits éléments disposés radialement; un sommet du triangle pointe vers le centre de figure, la base opposée s'appuie largement sur le bois secondaire. Cette trace foliaire est localisée dans un rayon. Naturellement, à cause de la fig. 23 *b*, il y a peut-être lieu de faire quelques réserves et de se demander si nous ne sommes pas, non pas en présence d'une pièce sortante, mais d'une très petite roulure ? Nous avons trouvé, M. Renault et moi, dans le bois secondaire des *Poroxylons*, des roulures qui avaient un faciès analogue. On en voit aussi dans le *Lyginodendron Oldhamium*, fig. 21, Partie IV. Je ne crois pas que *m* soit une de ces roulures et tel n'était pas non plus l'avis de mon savant collègue de Manchester. M. Williamson a été frappé de ces caractères particuliers du *Diploxylon cylindricum* et il s'est demandé si cette organisation ne ressemblerait pas à celle des Sigillaires du sous-genre *Favularia*. J'aurai occasion de revenir ultérieurement sur ce point (1).

(1) Dans le Diploxylon de M. Nield, le contact du bois primaire et du bois secondaire ressemble beaucoup à celui que Binney a figuré pl. 1 fig. 1 et 4 de son mémoire de 1865. La portion interne du bois secondaire forme aussi des coins mousses entre lesquels pointent les saillies trachéennes du bois primaire. On ne voit pas de pièces sortantes sur les figures de Binney. Un fort écrasement et une grande roulure rendent à peu près impossible l'observation des pièces sortantes. La section radiale représentée fig. 2 ne permet pas de combler cette lacune.

La fig. 23 *b*, que M. Williamson rapporte au *Diploxylon stigmarioïdeum*, est une section radiale du bois secondaire d'un stipe qui présente de *très fortes roulures*. La roulure est double, elle encastre peut-être un *sequestre* dans sa partie oblique. Il se pourrait même que ce sequestre fût un fragment de trace foliaire.

Dans son XIIme Mémoire, M. Williamson signale un fait très remarquable qui l'a conduit ultérieurement (1) à exposer un mode de croissance des *Lepidodendrons* au moins singulier. Dans un échantillon de M. Normann, qui lui a fourni la fig. 20 de son travail, le célèbre paléontologiste anglais a reconnu que les fibres primitives contiguës aux vaisseaux se sont recloisonnées. Les nouvelles cloisons sont radiales et tangentielles, ces dernières étant les plus nombreuses. Les fibres primitives plus internes sont recloisonnées en tous sens sans régularité. M. Williamson a conclu de ces recloisonnements à la possibilité d'une croissance de la moelle (2) et de son enveloppe vasculaire. M. Williamson avait déjà énoncé cette idée dans ses Mémoires X et III. *L'idée est au moins en germe dans la IIme Partie.* S'agit-il bien dans l'espèce d'un *Lepidodendron Hartcourtii* ou d'un *Lepidodendron fuliginosum*, c'est assez secondaire, puisque les deux espèces présentent à ma connaissance cette même manière d'être. Il s'agit là non d'un fait de croissance analogue à la continuation de la différenciation d'un bois primaire centripète comme l'avait d'abord pensé M. Williamson. Il ne s'agit pas non plus d'une intercalation de nouveaux vaisseaux entre les anciens, ou contre ceux-ci, mais bien de l'isolement de deux tissus à croissance très différente. Les éléments

(1) Annexe du XVIme Mémoire.

(2) Moelle est le terme employé par M. Williamson pour désigner le tissu central limité par la couronne vasculaire. C'est le terme employé par les anatomistes qui ne se sont pas rendu compte de la nature spéciale de ce tissu. Il n'y a donc pas lieu de faire une critique à M. Williamson de l'emploi de ce terme.

périphériques de la masse centrale étirés tangentiellement et radialement (1), se sont recloisonnés d'abord radialement puis tangentiellement, chaque élément formé pouvant se rediviser de nouveau. Il n'y a pas eu localisation de la région génératrice, de manière à former une lame comme dans les cambiformes localisés. Il y a eu là un cambiforme extrêmement diffus comme celui qui cicatrise l'ablation d'un petit lambeau d'épiderme sur une tige herbacée, mais on peut prévoir qu'il n'est pas impossible que cette localisation se rencontrât et allât même jusqu'à donner des productions libéro-ligneuses tardives disposées comme celles du *Tecoma radicans* ou mieux comme *celles qui sont intercalées entre les fibres primitives et les éléments ligneux primaires de quelques racines adventives de Cucurbita maxima* (2) Ces recloisonnements très inégalement répartis dans toute la masse sont beaucoup plus nombreux à sa périphérie. C'est là un cloisonnement tardif fait uniquement pour permettre au tissu central de suivre l'accroissement tangentiel rapide de la couronne vasculaire primaire et non un mode régulier d'accroissement de cette couronne. Ce fait rentre dans le domaine des tissus tardifs presque accidentels et non pas dans le développement régulier, comme le travail de la différenciation du bois primaire. M. Williamson a été conduit à l'opinion qu'il a exposée par la gradation de quelques-unes de ses figures. Ainsi à propos du *Lepidodendron mundum* qui montre un bois primaire annulaire comme le *Lepidodendron Hartcourtii,* M. Williamson, partant de branches grêles dans lesquelles l'axe ligneux est plein, fig. 7 et 8, Partie XVI, s'élève à un axe ligneux annulaire de grand diamètre, fig. 12 (3), par les figures

(1) Ce que montre le dispositif général radié dans les spécimens où la masse centrale est demeurée sans déchirures.

(2) J'ai rencontré un certain nombre de fois ce fait, mais il est rare même chez *C. maxima.*

(3) Ou même figure 15, sous la réserve toutefois des restrictions que j'ai indiquées p. 34.

9, 10, 11, dans lesquelles on voit une masse parenchymateuse centrale de plus en plus large occuper l'intérieur de l'anneau vasculaire primaire. De là cette idée que la masse libéro-ligneuse primaire croît par le centre et que c'est à cette croissance que répondent les recloisonnements des fibres primitives centrales. L'erreur de M. Williamson provient de ce que mon savant collègue voit dans les figures 8, 9, 10, 11, 12 les stades successifs de la croissance d'une même branche. Or, rien n'établit qu'il en soit ainsi, et jusqu'à preuve contraire, on ne peut y voir que *des différences liées aux calibres des diverses branches* (1). Une branche grêle fournie par un point de végétation étroit a une masse libéro-ligneuse pleine; une branche plus large, produite par un gros bourgeon, a eu dès l'origine une masse vasculaire annulaire. Enfin, une branche dont la masse ligneuse était pleine au début à un niveau déterminé, n'a pas vu cette masse devenir annulaire à ce même niveau, au cours de sa croissance. Les recloisonnements constatés dans les fibres primitives centrales ne fournissent rien pour justifier l'idée exprimée par M. Williamson et pour infirmer les remarques ci-dessus. Ce sont des cloisonnements tardifs qui permettent à la masse centrale de suivre la croissance de l'anneau vasculaire primaire. La différence constatée entre les figures 8, 10 et 12, est de même ordre que celles que présentent la branche grêle et la branche forte du *Lepidodendron Hartcourtii*, fig. 6 et 1, Partie XVI, dans la fig. 9, Partie XI et dans les fig. 12 et 9, Partie XI. On retrouve les mêmes différences dans la plante lépidendroïde innommée de l'Ile d'Arran, Partie X, comme le montrent les fig. 1 et 2 opposées aux figures 3 et 4 et à plus forte raison opposées aux figures des rameaux diploxydoïdes des figures 5, 6 et 6 *A*.

(1) Sous une forme à peine différente, M. Hugo de Vries a présenté à M. Williamson les mêmes observations. L'illustre savant anglais le signale dans son travail, mais il ne répond pas à cette objection.

L'étude des recloisonnements tardifs des fibres primitives centrales des Lépidodendrons à masse vasculaire annulaire nous amène donc à cette autre question. « Les différentes branches d'un même *Lepidodendron* peuvent-elles avoir, selon leur calibre, les unes une masse ligneuse primaire pleine, les autres une masse primaire annulaire ». On sait qu'on distingue les Lépidodendrons à structure conservée en disant que telle espèce, comme le *Lepidodendron Rhodumnense* B. R., a un bois plein, alors que la masse vasculaire du *Lepidodendron Hartcourtii* est annulaire. C'est là un caractère distinctif commode qui a été proposé, à défaut d'autres, dans une première reconnaissance des Lépidodendrons. Il a rendu des services mais il faut, je crois, l'abandonner. S'il est bien certain, en effet, que dans certaines espèces comme le *Lepidodendron parvulum* fig. 23, 24, 25, Partie XVI, comme les très petits rameaux lépidendroïdes de Burntisland, la masse vasculaire a toujours été annulaire, même dans les rameaux les plus grêles, si de même dans d'autres espèces, comme le *Lepidodendron selaginoïdes,* comme l'*Halonia* d'Arran (1) la masse vasculaire est toujours pleine, il n'en est pas moins établi que d'autres espèces ont eu des branches grêles à axe vasculaire plein et des branches plus fortes à axe vasculaire annulaire, fig. 9 et 12, Partie XI, d'après le *Lepidodendron Hartcourtii*, fig. 2 et 4, Partie X, d'après la plante lépidendroïde innommée de l'île d'Arran, fig 3. et 2, échantillon n° 36 de Binney, IIIme Partie, d'après l'*Halonia regularis* (2). D'ailleurs, à priori même, quand on se trouve en présence d'axes pouvant atteindre le prodigieux calibre des Lépidodendrons, et cela par une poussée

(1) D'après la figure 21. Partie XII, l'épaisse couche subéreuse qui revêt cet axe montre que ce rameau n'est plus de la première jeunesse. Sa croissance primaire est donc achevée et son bois primaire est resté plein. — D'autre part les fig. 22, 23, 24 montrent l'origine d'une petite branche latérale à axe vasculaire plein.

(2) Voir aussi fig. 6. Echantillon n° 37.

rapide et pour ainsi dire d'un seul jet, il ne paraît pas prudent d'affirmer, même d'après des rameaux de 4 et 6 centimètres de diamètre, et plus souvent moindres, ce que seront les gros échantillons. Je crois donc qu'il faut renoncer à utiliser ce caractère de masse vasculaire pleine ou annulaire comme caractère spécifique. Il ne faut y recourir qu'avec une extrême réserve et pour des rameaux très jeunes et de calibres comparables.

Connaissant maintenant les points essentiels que les études de M. Williamson sur le *Lepidodendron Hartcourtii* ont mis en lumière, il m'est facile de résumer brièvement les indications qu'il avait données sur cette plante dans le premier mémoire où il s'en occupe. Ces indications n'ont plus qu'une valeur historique. Dans sa IIme Partie, M. Williamson décrivait de *nouveaux échantillons* de *Lepidodendron Hartcourtii* trouvés à Bacup par M. J. Aitken et appartenant à M. Dawkins. Ses figures 16, 17, 18, 19 ont été dessinées d'après des préparations de la collection de M. Dawkins, la fig. 15 d'après un échantillon de M. Butterworth, et enfin la fig. 20 d'après un spécimen de M. Whittaker d'Oldham.

La fig. 12 est une section transversale d'ensemble grandeur naturelle d'un stipe *grêle*, dépouillé de ses coussinets, mais ayant encore son assise subéreuse. Les régions sont représentées sans solution de continuité entre elles. Sur la figure 13, qui en montre un secteur grossi, la zone corticale moyenne et la zone corticale interne sont nettement séparées. Cette dernière est mal délimitée par rapport au liber. D'après la figure, il est probable qu'elle se terminait intérieurement par cette couche stratifiée si accusée chez le *Lepidodendron fuliginosum*. Les sorties sont très obliques comme dans cette espèce. Le double point noir qui devrait caractériser la trace foliaire du *Lepidodendron Hartcourtii* n'est pas visible. Les deux écorces sont relativement minces. La couronne vasculaire est

indiquée, mais ses pointements polaires ne sont pas visibles. La limite entre les fibres primitives et les vaisseaux est peu nette. Il est vrai que le grossissement employé est faible et qu'il faut simplement considérer la figure comme une mention des régions. Il est très probable, comme M. Williamson l'a d'ailleurs fait remarquer, que ce spécimen appartient non pas au *Lepidodendron Hartcourtii* type, mais au *Lepidodendron fuliginosum*. Sur cette fig. 13 je ne reconnais pas de productions libéro-ligneuses secondaires, bien qu'elles soient indiquées, comme je l'ai dit précédemment, par la lettre *d*, page 28. La fig. 14 montre les fibres primitives en section radiale et le parenchyme cortical interne. La zone stratifiée de l'écorce interne n'est pas visible sur cette figure. Les fig. 17, 18 sont des coupes parallèles à la surface dans la région des coussinets, les figures 16 et 20 sont des coupes radiales de cette même région. Les renseignements qu'elles fournissent sont bien faibles. la plupart des coussinets étant coupés en dehors de leur surface de symétrie. La fig. 19 est une section oblique inutilisable.

Pour compléter ces données bibliographiques sur les recherches de M. Williamson qui ont contribué à faire connaître le *Lepidodendron Hartcourtii*, il convient de signaler les Lepidodendrons à bois primaire annulaire qu'il a fait connaître. Ces espèces sont au nombre de cinq. C'est d'abord une petite espèce que M. Williamson a trouvée lui-même dans les nodules carbonatés des environs d'Oldham et dont il a représenté une section transversale d'ensemble fig. 33, Partie III (1). La fig. 34 montre la section radiale de la couronne vasculaire. — Les sections horizontales des coussinets rappellent les sections correspondantes des coussinets de la plante diploxyloïde de Burntisland. Ils sont

(1) D'après la note (2), citée p. 30, je crois que M. Williamson désigne maintenant cet échantillon sous le nom de *Lepidodendron brevifolium (forme d'Oldham)*. (Note ajoutée pendant l'impression).

moins épais, la carène est moins forte, les ailes sont moins indépendantes. Je compte 18 coussinets sur la périphérie. La zone subéreuse n'est pas encore différenciée. On voit seulement vers la partie inférieure droite de la figure la région où elle s'établira. L'écorce interne est détruite. La couronne vasculaire continue à 3 ou 4 rangs de vaisseaux. Elle ressemble également à celle du Diploxylon de Burntisland. Ce qui est spécial à cette espèce ce sont ses fibres primitives centrales particulièrement larges et longues. Les traces foliaires sont très nettes, assez volumineuses. Le trajet de la sortie dans les coussinets est relativement long. La pièce sortante entre dans l'écorce moyenne quand le coussinet correspondant arrondit ses bords. Cette espèce n'a pas encore reçu de nom spécifique.

Dans le même travail, M. Williamson a figuré une seconde espèce qu'il a laissée également innommée (1). Celle-ci avait été trouvée par M. Nield. C'est un stipe d'environ 20^{mm} de diamètre, dont la surface montre 12 grands coussinets d'une forme très spéciale. Ces coussinets sont parfaitement arrondis sur les angles non carénés, déprimés même dans leur surface de symétrie, fortement rétrécis près de leur point d'attache. Ils sont séparés par des languettes qui sont les bases de coussinets plus élevés. On ne voit bien que quatre de ces languettes et l'ébauche d'une cinquième. Il est impossible, d'après cette seule figure, d'apprécier exactement ce qu'étaient l'écorce moyenne et les pièces sortantes. La couronne vasculaire, très épaisse relativement, compte 5 à 6 rangs de vaisseaux. Le noyau de fibres primitives centrales est très réduit.

Les trois autres espèces sont décrites dans la XVIe Partie. — J'ai indiqué p. 34 les caractères essentiels de la masse libéro-ligneuse du *Lepidodendron mundum*. Si la fig. 7, section transversale

(1) Je ne vois pas que dans sa nouvelle note M. Williamson lui ait assigné un nom spécifique. (Note ajoutée pendant l'impression).

d'un stipe grêle *d'un peu plus d'un millimètre de diamètre* (1) n'est pas dépouillée de ses coussinets, cette espèce serait immédiatement reconnaissable ou bien par des coussinets extrêmement réduits, nuls ; ou par des coussinets suffisamment espacés pour qu'une section puisse passer entre les attaches des frondes sans les intéresser. Dans l'un et l'autre cas la surface aurait un faciès bien peu lépidendroïde (2). Le bois primaire du *Lepidodendron mundum* est tantôt plein et tantôt annulaire. Certains rameaux pouvaient avoir des productions secondaires (??) (3).

Le *Lepidodendron parvulum* est aussi une très petite espèce mais avec des coussinets lépidendroïdes. Ses coussinets sont larges, à bords arrondis, avec une petite carène médiane. Entre le tissu des coussinets et l'écorce moyenne on trouve une zone de grands îlots occupés par un tissu à éléments délicats. L'épaisseur relative du tissu dit des coussinets est considérable, bien que les coussinets eux-mêmes ne soient pas très épais. Cette espèce se ramifiait par dichotomie égale.

La dernière espèce a reçu le nom de *Lepidodendron Spenceri*. Sa surface n'a pas été figurée. Si, comme l'indique la fig. 22, Partie XVI, les éléments centraux sont des fibres primitives, le bois primaire est annulaire très épais. D'après la fig. 19, il se pourrait aussi que le tissu central fût encore à l'état procambial et que la différenciation du bois primaire ne fût pas terminée. Dans ce cas l'axe vasculaire aurait été plein. Les traces foliaires paraissent *dichotomes* dans la traversée de l'écorce moyenne. Ce caractère ne se retrouve à ma connaissance que dans un Lepidostrobus de Burntisland qui a fourni à M. Williamson les figures 29 et 30 de sa Partie III. Ces sorties ont

(1) Au grossissement de 80 diamètres le grand axe mesure 91^{mm}. Un spécimen que m'a communiqué M. M. Hovelacque mesure 3^{mm} sur 2^{mm}.

(2) J'insiste sur ce point que ma remarque n'a de portée que si vraiment les échantillons étudiés possèdent leur surface. C'est en général le cas de ces rameaux de très petits diamètres.

(3) J'ai cru devoir indiquer p. 34 les réserves que je faisais sur ce point.

un faciès caractéristique, elles sont disposées concentriquement dans la traversée de l'écorce moyenne. Le *Lepidodendron Spenceri*, comme le *Lepidodendron parvulum*, est donc une espèce bien tranchée ; mais ne connaissant sur toutes ces petites espèces que les régions que je viens de décrire, ces données sont certainement insuffisantes pour voir autre chose qu'un *rapprochement provisoire* dans les comparaisons qu'on en pourrait faire avec le *Lepidodendron Hartcourtii*.

Chose très singulière, l'étude des axes des *Lepidostrobus* n'a pas donné jusqu'ici d'indications bien utiles sur la structure du *Lepidodendron Hartcourtii*, non que ces parties ne puissent être utilisées, mais l'étude anatomique des Lépidostrobus est à peine ébauchée. Il est particulièrement regrettable que celle du *Lepidostrobus traquaria*, fig. 82, Partie X des mémoires de M. Williamson et celle des Lépidostrobus rapportés par Binney au *Lepidodendron Hartcourtii* (échantillon 17, Partie II) et au *Lepidodendron vasculare* (échantillon 19) n'ait pas été poussée plus loin.

M. B. Renault s'est occupé à diverses reprises du *Lepidodendron Hartcourtii*. Il a étudié la préparation que Hutton avait donnée à Brongniart et les préparations de Unger. Dans son mémoire : *Sur la structure comparée de quelques tiges de la Flore carbonifère* (1), mon savant ami donne certaines indications qui n'ont pas été suffisamment remarquées, car elles sont une première tentative pour pénétrer plus avant dans l'organisation de ce type et nous faire connaître autre chose que les régions du stipe. Pour la première fois, en effet, M. Renault décrit et figure des sections de la trace foliaire prises en différents points de sa course. Faute de nouveaux matériaux, M. Renault se proposait *simplement et incidemment* de compléter en passant quelques points des descriptions du *Lepidodendron Hartcourtii*

(1) Paris, 1879. 1 vol. in-4. 8 pl. — Extrait des Nouvelles Archives du Museum.

données par ses devanciers, en insistant sur les pointements trachéens et sur les pièces sortantes. Comme on le verra, tel est aussi l'objet de ce travail qui procède directement de celui de M. Renault. Les figures publiées par le célèbre paléobotaniste français occupent la partie supérieure de la planche XI de son mémoire. Elles sont originales et très heureusement complétées par d'autres figures également originales, tirées du *Lomatofloyos crassicaule* de Corda. La fig. 1 montre un arc de la couronne vasculaire du *Lepidodendron Hartcourtii* avec 6 pôles et 3 pièces sortantes. Certains pôles sont figurés comme plus rapprochés que d'autres. Ce dispositif est surtout accusé dans la fig. 8, qui représente un arc de la couronne vasculaire du *Lomatofloyos* et où, par conséquent, les pointements trachéens sont beaucoup plus saillants. Les figures 2, 3, 4 sont des sections *horizontales* de pièces sortantes en divers points de leur course. Sur la fig. 2, la pièce sortante est encore dans le liber, entre un pôle gauche simple, épais, avec pointe légèrement inclinée à gauche, et un pointement droit, en forme de lame mince, très inclinée à droite. Ces pointements trachéens n'ont pas été figurés par M. Renault, mais il m'est possible de préciser ainsi la position et les rapports de la pièce sortante d'après sa forme et sa structure. La fig. 3 montre la pièce sortante dans l'écorce interne, la fig. 4, représente son aspect dans la partie la plus interne de l'écorce moyenne. La figure 5 est une section tangentielle de cette pièce montrant deux groupes trachéens localisés aux deux extrémités de la lame vasculaire.

La fig. 6 est la section transversale d'un petit rameau lépidendroïde très grêle de Manchester, demeuré indéterminé spécifiquement. Il ne s'agit que d'un spécimen analogue au *Lepidodendron Hartcourtii*, mais non du *Lepidodendron Hartcourtii* type. L'arrangement de la couronne vasculaire, l'émission des sorties, leurs rapports offrent des ressemblances avec ce que l'on voit dans cette espèce. Ce petit spécimen peut donc encore

servir utilement de terme de comparaison ; la surface de l'échantillon est cependant très particulière, avec ses grandes émergences lamellaires dirigées radialement. La fig. 7 montre une partie du bois primaire au grossissement de 100 diamètres (1). Les pointements trachéens sont peu saillants, très nombreux. Chaque sortie est entourée d'une gaîne légèrement sclérifiée ou fortement subérisée ; je n'y vois pas l'indication d'un arc glandulaire postérieur, mais ce n'est peut-être là qu'un défaut de conservation.

Les figures 8 à 12 sont consacrées au *Lomatofloyos*. La fig. 8 montre un arc de la couronne vasculaire qui intéresse cinq pointements trachéens dont deux sont doubles. On y voit sept sorties de formes différentes réduites à leurs masses ligneuses. Les figures 9, 10, 11 sont des sections transversales du bois de la pièce sortante dans sa traversée du liber. M. Renault a remarqué que cette pièce semblait naître entre deux pôles et y disparaissait, par conséquent elle ne provient pas simplement de l'isolement d'un pointement, comme l'avait indiqué Brongniart. La fig. 12 du travail de M. Renault résume schématiquement toutes les indications consignées dans les figures antérieures. Il est très regrettable que ces indications si précises et si exactes de M. Renault n'aient pas été plus remarquées, non seulement elles apportaient de nouvelles données à la connaissance de l'organisation des Lépidodendrons du type *Hartcourtii*, mais elles constituaient un premier essai de l'application de la belle méthode des traces foliaires à l'étude de ces plantes.

Dans le second volume de son *Cours de Botanique fossile* (2), M. Renault s'est borné à résumer sur le *Lepidodendron Hartcourtii* ce que l'on en connaissait alors, ne con-

(1) Le grand diamètre de la couronne ligneuse mesure à peine $0^{mm}5$.

(2) B. Renault. Cours de Botanique fossile. Paris, 1881-1885, 4 vol. in-8, nombreuses planches.

servant de ses indications personnelles que celles qui se rapportent aux diverses sections de la trace foliaire du *Lomatoflœos crassicaule* de Corda.

M. DE SOLMS-LAUBACH a résumé dans son Introduction à la Paléontologie végétale tout ce que l'on savait en 1887 sur la structure des Lépidodendrons, non pas, comme il arrive si souvent dans les Traités généraux, en en donnant un compte-rendu d'après tel ou tel auteur, mais en observateur qui a étudié d'une manière approfondie toutes les préparations dont il parle. L'opinion qu'exprime le savant professeur de Strasbourg est dès lors non-seulement un contrôle, c'est de plus une observation originale faite par un anatomiste de premier ordre. Après avoir décrit le *Lepidodendron Rhodumnense*, puis le *(Lepidodendron ??) Jutieri* (1). M. de Solms expose ce que l'on sait sur le *Lepidodendron selaginoïdes* et naturellement à ce propos il discute avec une grande autorité l'accroissement secondaire des Lépidodendrons. Il y revient même une seconde fois un peu plus loin. Naturellement il voit dans ce mode d'accroissement un régime normal, régulier; les rapports de ces productions libéro-ligneuses secondaires avec des productions tardives ne l'ont point frappé. Mon savant collègue passe ensuite aux Lépidodendrons du type *Hartcourtii*, p. 231 et suivantes. Ayant eu la bonne fortune d'étudier simultanément le *Lepidodendron fuliginosum* (qu'il propose d'appeler *Lepidodendron Williamsoni*) et de nouvelles préparations du *Lepidodendron Hartcourtii* type (2), il rappelle et précise les caractères spécifiques indiqués par M. Williamson pour différencier ces deux formes. Il résume ensuite brièvement ce que l'on sait sur les espèces qui ont été considérées comme affines du *Lepidodendron Hartcourtii* et parmi elles sur le *Lepidoden-*

(1) M. B. Renault range actuellement le *Lepidodendron Jutieri* parmi les *Knorria*.

(2) Provenant de la collection de M. Cash.

dron nothum et sur le *Lepidodendron Richteri* trouvés par Unger dans les schistes à cypridines de Saalfeld; sur le *Lepidodendron squamosum* de Goeppert et sur le *Lomatofloyos crassicaule* de Corda, puis il passe aux stipes diploxyloïdes. En étudiant les Diploxylons de Burntisland et de Laggan Bay, M. de Solms est conduit à admettre que les Lépidodendrons du type *Hartcourtii* ont pu présenter un bois secondaire centrifuge.

Le Dr Johannès Felix a trouvé quelques échantillons de *Lepidodendron Hartcourtii* dans les concrétions carbonatées des couches de houille de la Westphalie. Cette espèce est beaucoup plus rare que le *Lepidodendron selaginoïdes*. M. Felix n'a malheureusement consacré que quelques lignes au *Lepidodendron Hartcourtii*, p. 27 et 28 (1) de son travail. Après avoir examiné l'écorce et le bois de cette espèce il y constate la présence de très nombreuses traces foliaires, et l'absence de productions secondaires, tout en admettant la possibilité de ces formations dans des échantillons plus développés que ceux que lui-même a rencontrés.

Dans le rapide résumé de Paléontologie végétale qu'il vient de publier, le professeur A. Schenck a consacré une page à la structure des Lépidodendrons du type *Hartcourtii*. Prenant comme type la structure du spécimen de Vernon Hartcourt, M. Schenck résume brièvement ce que M. de Solms en a dit ainsi que ses indications sur le *Lepidodendron Williamsoni (Lepidodendron fuliginosum)* (2).

(1) Dr Johannès Felix. Untersuchungen über den inneren Bau westfälischer Carbon-Pflanzen. Berlin, 1887.

(2) A. Schenck. Die fossilen Pflanzenreste, p. 76, in Handbuch der Botanik. Bd. IV. Breslau, 1890.

13. — En même temps qu'il nous a fait connaître ce que l'on sait actuellement du *Lepidodendron Hartcourtii*, l'exposé bibliographique précédent, dans lequel ne paraissent que des noms illustres dans la science, suffit, je crois, à établir l'intérêt qui s'attache à ce type fossile et à justifier les efforts qui seront tentés pour pénétrer plus avant dans son organisation. C'est qu'il s'agit en effet non pas seulement d'une plante extrêmement rare ou d'une plante très ancienne, mais d'une forme végétale dont l'organisation diffère profondément de tout ce que l'on connaît dans la nature actuelle. Le *Lepidodendron Hartcourtii* nous montre qu'à l'époque houillère, il existait des Cryptogames vasculaires à masse libéro-ligneuse radiée beaucoup plus différenciées que nos Centradesmides actuelles, et qui commençaient à prendre certains caractères qui se sont accentués chez les Phanérogames diploxylées. La structure de certains Lépidostrobus dont la masse libéro-ligneuse est très semblable à celle du *Lepidodendron Hartcourtii* a permis de rapporter presque avec certitude cette plante aux Cryptogames vasculaires à fructifications spiciformes. Sa masse libéro-ligneuse radiée en fait avec non moins de certitude une Centradesmide. La croissance secondaire des formes diploxyloïdes qu'on en rapproche, en même temps qu'elle accentue encore la supériorité de ce type organique par rapport aux Centradesmides actuelles, nous montre dans ces plantes un caractère que, jusqu'à une époque relativement récente, on a admis comme exclusivement propre aux Phanérogames, je veux parler de l'existence de production libéro-ligneuses secondaires (1). La connaissance

(1) Bien que par des considérations tirées de la *Théorie du Faisceau*, je sois tout disposé à admettre l'existence de productions libéro-ligneuses secondaires, chez les Cryptogames vasculaires, je dois déclarer que les plantes actuelles, *Ophioglossum*, *Botrychium*, *Helminthostachys*, *Isoëtes*, ne me paraissent pas fournir des exemples vraiment démonstratifs de ces productions. Dans l'agencement en files radiales des éléments libéro-ligneux de ces plantes, je vois non pas l'indication de tissus secondaires

approfondie de ce type a donc une importance considérable pour la Paléontologie, pour la Classification aussi bien que pour l'Anatomie générale.

14. — Les rapprochements qui ont été successivement proposés pour le *Lepidodendron Hartcourtii* peuvent se résumer comme il suit :

Witham a comparé le *Lepidodendron Hartcourtii* au *Lycopodium clavatum*. Lindley et Hutton y voyaient une forme intermédiaire entre les Lycopodiacées et les Conifères, mais cette appréciation repose sur une interprétation erronée des tissus du stipe. Brongniart rangea le *Lepidodendron Hartcourtii* parmi les Cryptogames vasculaires lycopodiacées près des *Tmesipteris*. Dans son mémoire sur le *Sigillaria elegans*, il y opposa les Sigillaires dont il faisait des Phanérogames gymnospernes. En l'absence des organes reproducteurs des Sigillaires, Brongniart justifiait sa manière de voir en s'appuyant sur la présence, chez ces plantes, d'un bois secondaire divisé en coins auxquels correspondent les îlots antérieurs de vaisseaux scalariformes. Pour Brongniart, ce dispositif était un caractère phanérogamique, alors qu'il voyait dans l'anneau vasculaire à pointements trachéens externes du *Lepidodendron Hartcourtii*, un caractère cryptogamique. Brongniart plaça ainsi, à la limite de deux embranchements, d'une part le *Lepidodendron Hartcourtii*, d'autre part les Sigillaires, l'*Anabathra pulcherrima* de Witham, et, plus tard, le *Diploxylon cycadoïdeum* de Corda. Brongniart, puis M. B. Renault, s'appuyant sur les *Lepidodendron Rhodumnense*, *Lepidodendron Hartcourtii*

produits par une véritable zone cambiale, mais un dispositif rayonné imposé *aux productions primaires* par l'extrême brièveté du stipe et par de nombreuses sorties. A la base du pédoncule spicifère du *Phylloglossum*, dans la partie qui porte les frondes inférieures, on trouve une structure analogue des masses libéro-ligneuses. Chez les *Isoëtes*, il s'y ajoute même parfois des insertions de racines adventives ; ce ne sont pas pour cela des tissus secondaires. L'exemple des productions libéro-ligneuses secondaires du *Sphenophyllum* est bien autrement probant que ceux-là.

(échantillon type) et sur les *Sigillaria Menardi*, *Sigillaria spinulosa*, ont constamment maintenu la séparation des Lépidodendrons et des Sigillaires à la limite de deux embranchements distincts. Très frappés, au contraire, par leurs nombreux échantillons diploxyloïdes et par les plantes lépidendroïdes qui, comme le *Lepidodendron selaginoïdes*, le *Lepidodendron vasculare*, ont un bois primaire plein, entouré d'une épaisse couche de bois secondaire, la majorité des observateurs anglais, à la suite de l'illustre paléobotaniste de Manchester, ont voulu rapprocher davantage les Sigillaires des Lépidodendrons et réunir les Sigillaires aux Lycopodiacées. De là des discussions sans fin dont on a pu dire cependant : qu'elles eussent tenu dans une coquille de noix. Il y a du vrai dans ce mot humouristique de M. Williamson. Sa figure 53 Partie II, qui montre une belle écorce de Sigillaire du sous-genre *Favularia*, fait voir, si l'on a soin de mettre la figure dans sa position normale, c'est-à-dire tête en haut, que les pédoncules spicifères étaient axillaires. La ramification était donc axillaire dans cette forme de plantes, alors qu'elle est indépendante de l'aisselle des feuilles dans tous les Lépidodendrons étudiés. Il est profondément regrettable que M. Williamson n'ait pu obtenir de sections transversales, même partielles, du remarquable échantillon qui lui a donné les figures 29, 30 31, 32 de sa IIme Partie. Je ne doute pas qu'il y eût trouvé certains caractères rappelant ceux du *Diploxylon cylindricum* de M. Nield. Le groupement du bois secondaire en coins est tellement accusé dans cet échantillon de M. Nield qu'il en tire un caractère en quelque sorte personnel. Les fig. 33, 34 montrent de plus un coin ligneux étonnamment polarisé, qui sort dans le plan de symétrie d'un coin secondaire, c'est là un caractère singulier pour une Centradesmide à bois secondaire. Evidemment nous nous éloignons là très rapidement des Centradesmides et il me semble que nous voyons s'accumuler avec la même rapidité

les caractères phanérogamiques. Est-ce à dire que le passage des Cryptogames vasculaires aux Phanérogames s'est fait par les plantes diploxyloïdes, ce *Diploxylon cylindricum* et les Sigillaires ; je ne puis ni ne veux rien préjuger pour le moment sur ce point délicat. Quoi qu'il en soit, pour les auteurs anglais comme pour Brongniart et M. Renault, les Lépidodendrons sont des plantes Lycopodiacées que l'on rapproche maintenant des Isoëtes. M. de Solms et M. Schenck les placent dans une Famille à part près des Isoëtes. M. Van Tieghem réunit dans une Famille des Lépidodendracées, les Lépidodendrons, les Sphenophyllum, les Sigillaires à la suite des Isoétées et des Sélaginellées, et il place cette famille dans son Ordre des Lycopodiacées hétérosporées. Remarquant très justement que certains Lépidodendrons sont peut-être homosporés alors que d'autres étaient hétérosporés, MM. Hick et Cash, dans une note récente (1), laissent de côté ce caractère de l'hétérosporisme, et placent les Lépidodendrées au sommet des plantes Lycopodiacéennes au-dessus des Ligulées (Sélaginelles et Isoëtes).

15. — L'analyse qui va suivre repose sur l'étude approfondie d'un matériel extrêmement restreint, mais qui était de tout premier ordre. Ayant pu obtenir trois coupes transversales successives d'un même stipe de *Lepidodendron Hartcourtii* dont les deux premières très voisines étaient raccordables, pôle à pôle, sortie à sortie, alors que la troisième, un peu plus éloignée, accentuait le déplacement des pièces sortantes, en même temps qu'elle permettait les vérifications nécessaires, j'ai pensé qu'il serait possible d'appliquer à cette plante, la méthode des traces foliaires qui nous avait donné, à M. Renault et à moi, de

(1) Th. Hick et W. Cash. The structure and affinities of Lepidodendron., — *Procedings of the Yorkshire geological and polytechnic Society* vol. XI part. 2, p. 316-332.

si précieuses indications dans notre étude des Poroxylons (1). Un premier examen du *Lepidodendron Hartcourtii* m'ayant appris que cette plante, comme beaucoup d'autres plantes houillères, ne présentait, en dehors de ses régions de dichotomie, que des pièces sortantes d'une seule espèce, bien qu'il s'agît d'une Cryptogame vasculaire, et bien qu'il fût possible de reconnaître à première vue l'absence de cycle simple; comme il y avait manifestement une forte tendance à la régularisation des pièces sortantes; j'ai pensé qu'on pouvait encore, moyennant de légères modifications de la méthode ordinaire, traiter ce stipe comme un axe à faisceaux d'une seule espèce, et obtenir au moins les sections horizontales des pôles et des pièces sortantes aux différents points de leur course, tout comme s'il m'avait été possible de suivre l'une de ces pièces par la méthode des coupes successives. J'ai pu, en effet, en procédant de la sorte, non-seulement déterminer la structure des pôles et des pièces sortantes aux différents points de leur course, mais j'ai pu déterminer l'origine et les rapports de la trace foliaire, les rapports des pôles entre eux, la structure du liber et celle de l'appareil secréteur.

Plus tard, M. Hovelacque a eu l'extrême obligeance de me permettre d'étudier une de ses préparations de *Lepidodendron Hartcourtii*. Cet échantillon, très distinct du premier, m'a fourni des éléments de contrôle absolument inespérés. J'ai pu déterminer de la sorte les particularités qui n'étaient qu'individuelles et recueillir tout une série de données sur les positions relatives des sorties dans l'écorce interne. Le spécimen de M. Hove-

(1) La méthode des traces foliaires appliquée aux Poroxylons nous a permis de déterminer la structure du faisceau unipolaire diploxylé à tous ses niveaux, et par suite de donner la signification des tissus de ces faisceaux. Répondant ainsi d'avance, et aussi complètement qu'on pouvait le désirer, aux objections que M. de Solms a cru devoir formuler à notre manière de voir dans son article sur le faisceau foliaire des Sigillaires. l. c. p. 262, 263, 264.

lacque, absolument unique sous ce rapport, a ses 19 séries de pièces sortantes presque intactes. Celles qui ont été légèrement déplacées près de la couronne ligneuse sont faciles à rétablir. Chose singulière, le tissu même de l'écorce interne a cependant en très grande partie disparu.

Le premier comme le second échantillon montrent à première vue tous les caractères spécifiques qui définissent immédiatement le *Lepidodendron Hartcourtii*, sorties indiquées par un double point noir, grande épaisseur et grande transparence de l'écorce interne, épaisseur assez grande de l'écorce moyenne, cette dernière étant très différenciée de l'écorce interne, l'un et l'autre sont privés de leur couche subéreuse, on en retrouve seulement quelques petits lambeaux au bord du spécimen de M. Hovelacque. Ces lambeaux suffisent d'ailleurs pour permettre d'affirmer que le liège formait autour de ces stipes une couche assez épaisse. Ce n'est donc pas simplement de jeunes stipes qu'il s'agit ici mais d'axes mesurant *sous le liège* plus de 40^{mm} de diamètre, cependant ni dans l'un ni dans l'autre il n'y a de productions libéro-ligneuses secondaires.

En terminant cette Introduction, je dois remercier tout particulièrement mes amis, M. Bernard Renault et M. Maurice Hovelacque, pour l'aide qu'ils m'ont apportée dans ces longues et difficiles recherches.

ANALYSE ANATOMIQUE DES ÉCHANTILLONS

SOMMAIRE

1. Particularités individuelles des échantillons.
2. Régions de la section transversale.
3. Orientation des préparations.
4. Description histologique de chaque région.
   A. La masse libéro-ligneuse.
      α. Le bois primaire.
      β. Les fibres primitives centrales.
      γ. Le liber et son appareil sécréteur.
   B. L'écorce interne.
      α. La gaine protectrice.
      β. La zone rayonnée.
      γ. La zone moyenne.
      δ. La zone externe.
   C. L'écorce moyenne.
      α. La zone profonde.
      β. La zone moyenne.
      γ. La zone périphérique.
   D. La couche subéreuse. — Les glandes corticales et les sequestres.
5. Les régions polaires et les traces foliaires dans la traversée du liber,
      α. Remarques préliminaires.
      β. Principales formes des pointements trachéens et leurs rapports avec les traces foliaires. — Leur succession dans une série. — La succession des séries.
      γ. Le pôle dans l'étendue d'un cycle.
      δ. La trace foliaire depuis son origine jusqu'à sa sortie du liber.
      ε. Résultats donnés par l'étude directe des préparations.
6. La trace foliaire dans l'écorce interne.
7. La pièce sortante dans l'écorce moyenne.

1. — *Particularités des deux échantillons.*

Les deux échantillons que j'ai étudiés présentent des particularités que je vais énumérer brièvement. Elles permettront de se rendre compte à la fois, de leur état de conservation et des données que nous pouvons obtenir de l'un et de l'autre.

Sur le premier échantillon, dans la partie dont j'ai pu disposer, les coussinets et le liège font défaut ; l'écorce moyenne a été complètement dénudée tout près de sa surface pendant la taille. La zone externe et la zone moyenne sont très accusées, A part deux ruptures radiales diamétralement opposées, l'écorce moyenne est intacte. L'une de ces ruptures, plus faible, est un peu à droite du milieu de sa face antérieure. Cette première rupture est très fine, elle n'a déplacé aucune trace foliaire. Elle est accompagnée de trois fines fentes radiales qui partent des sorties les plus voisines et qui s'avancent vers le centre de figure. La deuxième rupture est plus importante que la précédente. Elle ne traverse pas toute l'épaisseur de l'écorce moyenne, nais elle a déplacé quelque peu les traces foliaires voisines. Elle est occupée par la section d'un organe stigmarioïde. Deux autres très petits organes stigmarioïdes circulent dans l'épaisseur de l'écorce moyenne, à sa face antérieure, sans avoir provoqué de déplacement, et chacun d'eux y emplit très exactement la cavité qu'il occupe. L'écorce interne, très abîmée, a été décollée de l'écorce moyenne sur toute la face postérieure et sur la plus grande partie du côté gauche. Elle est demeurée adhérente à l'écorce moyenne sur toute la face antérieure et sur une partie du côté droit. Toute l'écorce interne forme ainsi un grand lambeau très abîmé qui suspend, pour ainsi dire, la masse libéroligneuse à peu près au milieu de la face antérieure. La déchirure de l'écorce interne a abandonné quelques traces foliaires près de la face postérieure. Le liber tient à l'écorce interne.

Déchiré radialement vers le milieu de la face postérieure, il a été séparé de la couronne vasculaire et rejeté à droite et à gauche avec l'écorce interne. A la partie antérieure de la couronne vasculaire, le liber tient au bois, il n'a pas été déplacé, et a conservé avec le bois ses rapports normaux. La couronne vasculaire, plus épaisse à la face postérieure, est rompue et légèrement abîmée vers le milieu de la face antérieure. Sur deux des préparations, on voit encore une rupture sur la face postérieure et un peu à gauche, mais celle-ci n'a rien altéré. La couronne vasculaire pend contre le milieu de la face antérieure, dénudée sur la plus grande partie de son contour postérieur. Les fibres primitives centrales forment une masse déchirée, décollée de la couronne vasculaire, sauf en un point restreint de la face antérieure, un peu à gauche du milieu de cette face. Sur la préparation moyenne la masse des fibres primitives est même complètement libre et rejetée un peu à gauche. Une masse brune amorphe a rempli le vide laissé entre la couronne ligneuse et l'écorce moyenne. Malgré l'importance des déchirures que je viens de signaler, malgré la très mauvaise conservation de l'écorce interne et les déplacements subis par les traces foliaires qui traversent cette région, il est possible, avec un peu de patience, de les retrouver toutes. Je distinguerai d'après leur position relative dans l'espace les trois sections de ce premier échantillon. J'aurai donc une préparation inférieure, une préparation moyenne et une préparation supérieure. Cette dernière a été collée sur le slide par sa face supérieure.

Dans l'échantillon de M. Hovelacque, la surface de l'écorce moyenne montre en quelques points son contact avec la région subéreuse. La génèse du liège aux dépens de cette région est reconnaissable. A part quelques très fines ruptures qui partent des pièces sortantes, la région corticale moyenne forme une zone continue dont les traces foliaires n'ont pas été déplacées. L'opposition signalée dans le premier échantillon entre les deux

zones externes de l'écorce moyenne est très faible dans celui-ci. Sa zone de contact avec l'écorce interne est, par contre, plus épaisse que précédemment. L'écorce interne a subi une modification très singulière. Elle a été presque totalement dissoute sur place mais sans altérer la position relative des pièces sortantes. Il ne reste du tissu cortical interne que des lambeaux non contractés, autour de chaque sortie, parfois entre deux sorties d'une même spire ou entre sorties homologues de spires voisines. Une plaque un peu plus étendue se trouve vers la partie interne de la région antérieure; bien que partiellement dissoute, on peut arriver, par un éclairement convenable, à saisir le contour des parois cellullaires. Une rupture s'est produite sur le côté droit qui a légèrement troublé les spires formées par les sorties dans le voisinage du liber. De même une légère perturbation s'est produite à gauche et vers la face postérieure qui a troublé les spires du côté gauche. Le liber, en grande partie dissous, tient à l'écorce moyenne et au bois. Il a été détruit sur la plus grande partie de l'arc antérieur gauche. La couronne vasculaire est entière sans rupture, sa conservation laisse à désirer sur une partie de l'arc antérieur. Les fibres primitives centrales forment une masse pleine adhérente de tous côtés à la couronne vasculaire. Tout l'ensemble de la masse libéro-ligneuse a été légèrement déplacé et un peu rapproché du côté gauche.

Cette préparation est-elle collée sur le slide par sa face supérieure ou par sa face inférieure? Nous verrons plus loin les motifs qui me font hésiter à me prononcer sur cette préparation isolée.

Les dimensions de ces sections sont les suivantes :

Préparation inférieure ..... Grand diamètre 44^{mm}0. Petit diamètre — (1)
Préparation moyenne..... Grand diamètre 43^{mm}0. Petit diamètre 34^{mm}0.
Préparation supérieure..... .. Grand diamètre 42^{mm}0. Petit diamètre 33^{mm}0.
Préparation de M. Hovelacque. Grand diamètre 42^{mm}0. Petit diamètre 36^{mm}5.

(1) Le petit diamètre ne peut être mesuré sur cette préparation dont l'écorce moyenne est entamée et détruite à la face antérieure.

2. — *Régions de la section transversale du stipe*

Fig. 1, 2, 3, pl. 1.

Les sections transversales des stipes partiellement décortiqués dont j'ai pu disposer sont presque elliptiques. On y distingue les régions suivantes :

1° Une région corticale moyenne qui paraît former la surface externe des échantillons.

2° Une région corticale interne très épaisse.

3° Une masse libéro-ligneuse dont le centre de figure est en même temps le centre de figure du stipe.

La région corticale moyenne doit être subdivisée en trois zones :

α. Une zone externe plus dense, produisant à sa surface la couche subéreuse et coupée radialement par le passage des pièces sortantes. Celles-ci deviennent très obliques, presque horizontales en traversant cette région.

β. Une zone moyenne épaisse.

γ. Une zone interne très mince par laquelle elle s'attache à l'écorce interne. Cette zone de contact ne prend un peu d'importance que vers les points où une pièce sortante pénètre de l'écorce interne dans l'écorce moyenne.

Dans la région corticale interne je distinguerai quatre zones :

α. Une zone externe de contact avec l'écorce moyenne. Cette zone est tiraillée dans le sens tangentiel.

β. Une zone moyenne très épaisse paraissant former parfois la presque totalité de l'écorce interne.

γ. Une zone interne circum-libérienne ou zone rayonnée.

δ. Une gaîne casparyenne ou gaîne protectrice.

La séparation entre l'écorce interne et l'écorce moyenne est nette, brusque, et très généralement une déchirure isole ces deux

tissus. Les délimitations des zones dans les deux parties de l'écorce le sont beaucoup moins. En particulier les subdivisions de l'écorce interne sont à peine indiquées sur nos échantillons, mais c'est surtout en vue de comparaisons ultérieures que nous aurons à faire qu'il y a lieu de les distinguer dès à présent et de compter avec elles. Si différenciées que soient ces zones corticales, je les considère toutes comme primaires, c'est-à-dire comme produites par des différenciations du tissu fondamental du stipe. Il pouvait s'y établir de nombreuses productions secondaires (1).

Dans la masse libéro-ligneuse je distinguerai :

α. Une couche libérienne externe de nature primaire limitée extérieurement par la gaîne protectrice.

β. Une couronne vasculaire primaire à pointements trachéens externes.

(1) Il se formait au moins un premier liège, c'est celui que j'ai signalé à la périphérie de l'écorce moyenne, il a pour rôle d'isoler le tissu des coussinets ; puis la zone circum-libérienne de l'écorce interne pouvait devenir le siège de recloisonnements qui donnaient des tissus tardifs autour du liber. Bien que je n'aie pas eu occasion de constater de cloisonnements tardifs sur mes échantillons de *Lepidodendron Hartcourtii* dans la zone rayonnée circum-libérienne, comme cette zone peut être indiquée, fig. 9, Partie XI de M. Williamson, fig. 1 de l'échantillon 34 de Binney, et comme d'autre part elle existe très fréquemment chez le *Lepidodendron fuliginosum*, j'estime qu'il y a lieu d'en tenir compte chez le *Lepidodendron Hartcourtii*. Il se pourrait d'ailleurs que cette zone stratifiée ne fût tout d'abord qu'un arrangement local provoqué par les sorties et leur engaînement, d'où une sorte de polarisation radiale des éléments corticaux. Dans ce cas, il ne s'agirait que de tissus primaires, mais M. Hovelacque m'a montré dans cette région chez le *Lepidodendron fuliginosum* un cambiforme diffus et des tissus secondaires indiscutables. Il pouvait donc s'en former en ce point. Je sais bien qu'alors se pose une autre question. N'y avait-il pas eu des altérations antérieures à cette formation tardive et qui en seraient la cause occasionnelle ? Il est certain que les tissus corticaux de ces Lépidodendrons étaient singulièrement aptes à se recloisonner et qu'ils le faisaient sous la moindre influence. Une traction un peu forte exercée par les tissus voisins suffisait. La région circum-libérienne paraît avoir été souvent le siège d'accidents de ce genre ; c'est pourquoi, je crois, qu'on ne peut décrire le type normal moyen, sans signaler très soigneusement l'existence possible de cette région. Il se pourrait, pour une raison analogue (tractions tangentielles et radiales), qu'on trouvât des tissus secondaires tardifs à la limite de l'écorce interne et de l'écorce moyenne.

γ. Une masse centrale de fibres primitives *recloisonnées* que l'on a regardée jusqu'ici comme une dépendance du tissu fondamental en lui donnant le nom de moelle.

Ni l'un ni l'autre de nos échantillons ne présentait de tissus libéro-ligneux secondaires.

Les dimensions des diverses régions sont les suivantes :

TABLEAU I (1).

DÉSIGNATION DE LA PRÉPARATION	ÉCORCE MOYENNE						Cavité limitée par l'écorce moyenne		Couronne ligneuse		Cavité limitée par la couronne vasculaire		Masse des fibres primitives	
			Epaisseur sur le											
	Grand diamètre	Petit diamètre	rayon droit	rayon gauche	rayon antérieur	rayon postérieur	Grand diamètre	Petit diamètre	Grand diamètre	Petit diamètre	Grand diamètre	Petit diamètre	Grand diamètre	Petit diamètre
Préparation inférieure.....	44.0	—	7.5	8.0	—	6.0	28.5	—	7.7	—	6.2	—	4.5	—
Préparation moyenne.....	43.0	34.0	7.0	8.0	7.0	7.0	28.0	20.0	7.7	6.5	6.2	4.7	4.5	3.5 (2)
Préparation supérieure.....	42.0	33.0	8.0	7.5	6.5	7.5	26.5	19.0	7.7	7.0	6.0	5.2	4.5	3.5
Préparation de M. Hovelacque.....	42.0	36.5	7.0	5.8	6.0	6.2	29.5	23.0	7.5	7.0	5.5	5.2	5.5	5.2

(1) Les mesures sont absolues et exprimées en millimètres.
(2) La masse des fibres primitives du premier échantillon a subi une contraction qui l'a décollée de l'anneau vasculaire.

Il est extrêmement surprenant de voir deux échantillons provenant de spécimens différents présenter une telle coïncidence de leurs dimensions. L'aplatissement de l'échantillon de M. Hovelacque est moindre que celui de l'autre exemplaire, mais je dois rappeler que ce dernier a été injecté par des matières amorphes et par conséquent a pu subir une légère déformation (1), (2).

J'ai dit que le contour de la section, dépouillée de l'assise subéreuse, était à peu près elliptique, ce n'est là qu'une première approximation. Dans cette figure qui présente au premier abord deux axes perpendiculaires inégaux, on reconnaît, par une étude plus attentive, que le rayon de courbure est plus petit à l'extrémité dextre du grand axe qu'à son extrémité sénestre. De même le rayon de courbure de l'extrémité postérieure du petit axe est moindre que le rayon de courbure de son extrémité antérieure. Le contour est donc une courbe fermée voisine d'une ellipse mais légèrement asymétrique, plus fortement bombée à droite et en arrière qu'en avant. La différence est faible, mais elle concorde cependant avec la répartition des pièces sortantes, et par là, exclut toute idée de fait accidentel et mérite d'être signalée. Cette forme du contour correspond à

(1) Si elle existe, cette déformation est bien faible.

(2) On peut désirer se faire une idée du diamètre total des rameaux que nous étudions lorsqu'ils étaient revêtus de leur assise subéreuse et de leurs coussinets foliaires. Or, d'après les figures de Binney, d'après les figures de M. Williamson et d'après de magnifiques échantillons de *Lepidodendron fuliginosum* que M. Hovelacque a eu la bonté de me communiquer, nous trouvons les rapports qui sont consignés dans le tableau (pages 64 et 65).

En prenant, ce qui paraît assez près de la proportion moyenne, le rapport de 65 % entre le grand diamètre de l'écorce moyenne et le grand diamètre total, nous trouvons pour le grand diamètre du premier échantillon $64^{mm}6$ et pour le grand diamètre du second $67^{mm}6$. Il s'agissait donc de rameaux déjà suffisamment gros, or les rameaux correspondants du *Lepidodendron fuliginosum* ont tous une couronne complète de bois secondaire. Cette couronne existe en effet avec 15 rangs d'éléments déjà dans un échantillon dont le grand diamètre mesure 41^{mm}, coussinets compris.

	bois secondaire.										
Lepidodendron selaginoïdes. Williamson. Partie XI, fig. 4. (2).	Cette figure ne représente qu'un *secteur* du stipe. Le coussinet est partiellement entamé.	ne peut être indiqué	Le rayon étant égal à 50	Ce qui reste du coussinet — 4.8	10.9	14.0	—	1.5	0.0	Diamètre du bois primaire = 21.3	
Lepidodendron Hartcourtii? ou *Lepidodendron fuliginosum?* Williamson. Partie XI, fig. 9.	Stipe très jeune dont la surface est intacte. La zone subéreuse est seulement à son début. Pas de productions libéro-ligneuses secondaires.	68.1	Gr. diam. — 100 Pet. diam. — 86.4	13.5	1.8	9.0	17 à 14.8	0.0	0.0	3.1 et 2.7	9.9 et 6.3
Lepidodendron brevifolium. Forme d'Oldham? Williamson. Partie III, fig. 33	Stipe très jeune, *très aplati*, sans liège ni productions libéro-ligneuses secondaires. La sur-	ne peut être indiqué (3)	Gr. diam. — 100 Pet. diam. — 47.5	Sur le grand diamètre — 21.2 à 26.2 Sur le petit diamètre — 19.6			12.5 à 22.5	0.0	0.0	3.7	8.7

ramification dichotomique

s et des deux côtés du stipe.

RAND

inégale de la plante. Cependant rien dans nos échantillons ne fait prévoir le voisinage immédiat d'une dichotomie. On retrouve

P. lepidendroïde de Burntisland (*Lepidodendron brevifolium*). Williamson, P. III, fig. 2.	Stipe très jeune, surface intacte, *sans zone subéreuse* et sans bois secondaire.	ne peut être indiqué	Gr. diam. = 100 Pet. diam. = 60	43.7				0.0	0.0	Diam. = 16.25	
Pl. lepidendroïde innommée de M. Nield Williamson. Partie III, fig. 35.	Stipe très jeune, très aplati, coussinets non déformés, *sans zone subéreuse* et sans bois secondaire.	ne peut être indiqué	Gr. diam. = 100 Pet. diam. = 72.4	25.7 à 28.9			22.5 et 0.0	0.0	0.0	4.0	2.4
Lepidodendron fuliginosum, collection de M. Hovelacque.	Stipe non aplati avec zone subéreuse commençante, nette, et avec bois secondaire. Coussinets non déformés.	62.0	Gr. diam. = 100 Pet. diam. = 95	11.0	6.0	9.0 et 6.0	14.0 et 16.0	2.0	1.5	2.0 à 2.5	9.0
Lepidodendron fuliginosum, collection de M. Hovelacque. Deuxième échantillon.	Stipe nettement elliptique, non déformé. Les coussinets sont enlevés. Une zone subéreuse. Bois secondaire en un seul point.	47.8??	Gr. diam. = 100 Pet. diam. = 90	11.0 ?? nombre admis	5.0	7.0	11.0	0.5	0.0	1.4	9.0 et 6.5
Lepidodendron parvulum. Williamson. Partie XVI. fig. 23 (4).	Stipe jeune, non déformé, sans zone subéreuse et sans bois secondaire.	ne peut être indiqué	Gr. diam. = 100 Pet. diam. = 76.2	41.2 à 42.5						3.1	9.5

(1) Les mesures indiquées sont des mesures relatives, le grand diamètre total est supposé représenté par 100.
(2) La zone subéreuse des Lepidodendrons du type *selaginoïdes* est remarquablement épaisse, même dans les très jeunes stipes, et surpasse de beaucoup celle des autres espèces citées.
(3) Les échantillons pour lesquels je n'ai pas indiqué la valeur du rapport du diamètre de l'écorce externe au diamètre total ne permettait pas en général cette détermination parce que la limite entre l'écorce moyenne et le tissu des coussinets ne pouvait pas être appréciée. Dans ces jeunes stipes, la zone subéreuse n'existe pas encore.
(4) Je n'ai pu utiliser pour ce tableau les *Lepidodendron medium*, *intermedium* et *Spenceri*, les figures d'ensemble de ces Lépidodendrons n'intéressant pas leur surface.

une forme analogue dans presque tous les Lépidodendrons qui ont été étudiés.

Le contour même de la section est sinueux, irrégulier. L'assise subéreuse s'unissait à l'écorce moyenne par une ligne ondulée dont les reliefs et les sinus ont en grande partie disparu pendant la taille des lames minces.

Les pièces sortantes figurent sur les sections transversales de petites régions qui, quand elles n'ont pas été déplacées, dessinent par leur ensemble dans l'écorce interne et dans l'écorce moyenne des arcs de spire. Même quand l'écorce interne est très abîmée, comme c'est le cas de mon premier échantillon, ces spires sont encore visibles dans l'écorce moyenne. De ces spires, les unes, concaves vers la gauche, ne comprennent que 2 ou 3 termes dans l'écorce moyenne, ce sont les plus nombreuses, les autres, concaves vers la droite, comprennent 5, 6 et même 7 termes dans l'écorce moyenne. Elles sont naturellement beaucoup moins nombreuses que les premières. Sur nos sections ces spires se répartissent comme il suit :

La préparation moyenne montre dans l'écorce moyenne :

8 spires à concavité dextre comprenant respectivement 7. 4. 4. 4. 4. 3. 6 termes (1).

12 spires à concavité sénestre comprenant respectivement 2. 2. 3. 3. 3. 3. 3, 2. 3. 3. 3. 2 termes.

32 sorties traversent donc l'écorce moyenne, 11 sur la face antérieure, 12 sur la face postérieure, 9 sur le flanc droit, 7 sur le flanc gauche. 7 de ces sorties étant communes à une face et à un flanc.

Les spires ne peuvent être suivies dans l'écorce interne.

La préparation supérieure montre dans l'écorce moyenne :

8 spires à concavité dextre comprenant respectivement 3. 3. 3. 3. 3. 5. 6. 5. termes (2).

(1) Les spires à 5, 6 et 7 termes paraissent comprendre soit des sortie en retards, soit des sorties en avance.

(2) La cinquième et la sixième spires ont un terme commun.

12 spires à concavité sénestre comprenant respectivement 3. 3. 3. 3. 2. 2. 2. 3. 2. 3. 2. 2. termes.

30 sorties traversent donc l'écorce moyenne, 12 sur la face antérieure, 10 ou 11 sur la face postérieure, 8 sur le flanc droit, 9 sur le flanc gauche, 9 ou 10 de ces sorties sont communes à une face et à un flanc.

Les spires ne peuvent être suivies dans l'écorce moyenne.

La préparation de M. Hovelacque montre dans l'écorce moyenne :

7 spires à concavité dextre qui comprennent respectivement 5. 7. 7. 4. 6. 7. 7 termes (1).

19 spires à concavité sénestre qui comprennent respectivement : 3. 2. 2. 2. 3. 2. 4. 3. 2. 2. 2. 1. 2. 2. 1. 2. 2. 3. 2 (2).

43 sorties traversent donc l'écorce moyenne, 19 sur la face antérieure, 13 sur la face postérieure, 11 sur le flanc droit, 9 sur le flanc gauche. 9 de ces sorties sont communes à une face et à un flanc.

Les spires dextres et sénestres de l'écorce moyenne se poursuivent dans l'écorce interne. Ce sont les spires sénestres qui sont les plus visibles, les spires dextres sont beaucoup plus difficiles à suivre et quelques légers déplacements rendent même ce travail impossible pour plusieurs d'entre elles. Les 19 spires à concavité sénestre de l'écorce moyenne portent sur leur prolongement dans l'écorce interne le nombre de termes ci-après :

6. 5. 6. 5. 6. 4. 4. 3. 4. 2. (1). 3. 1. (1). 3. 5. (4). 2 (4). 6. 5. 5. 6. — (3).

(1) Deux termes de la sixième spire sont assez fortement rapprochés du centre de figure. Un terme de la septième spire est au contraire un peu extérieur.

(2) La cinquième et la septième spire ont un terme commun. Les spires six et seize peuvent être portées à 3 termes par l'adjonction d'un terme qui pénètre dans l'écorce moyenne.

(3) Les nombres marqués entre parenthèses représentent des termes qui ne rentrent pas dans les spires ordinaires. On les a laissés entre les spires qui les comprennent entre elles (4).

(4) Il est probable que ces traces foliaires intercalées entre les spires ordinaires leur appartiennent régulièrement, mais qu'elles ont été légèrement déplacées.

soit un total minimum de 95 pièces sortantes comprises dans l'écorce interne; je dis minimum parce que les traces foliaires les plus voisines du liber ont été omises dans ce relevé fait à un grossissement très faible, par conséquent sans tenir compte des pièces sortantes encore à demi engagées dans le liber, ou si proches de ce tissu, qu'on ne peut les considérer comme complètement sorties dans l'écorce interne. Comme nous savons que le *Lepidodendron Hartcourtii* ne possède qu'une seule espèce d'appendices, nous pouvons donc trouver sur une seule section transversale 138 sections horizontales de la pièce sortante (1) prises entre le liber et la zone subéreuse. Comme il nous est extrêmement facile de classer ces sections les unes par rapport aux autres, nous pouvons donc prendre une idée très précise de la trace foliaire dans cette partie de son trajet, par un procédé qui rappelle celui des sections transversales successives. Le contrôle est d'ailleurs facile, grâce aux coupes raccordées du premier échantillon, car, bien que cet échantillon ne présente pas le même nombre de pièces sortantes que celui de M. Hovelacque, comme toutes les traces foliaires y sont néanmoins conservées, il est facile de voir si la succession des états relevés sur celui-ci s'applique bien à celui-là.

Les variantes que j'ai relevées, tant pour le nombre des termes de chaque spire que pour le nombre des pièces sortantes qui traversent les faces et les flancs de l'écorce moyenne, me paraissent conduire à cette conclusion qu'il n'y avait pas d'ordre simple dans la répartition des appendices à la surface du stipe, mais une tendance accentuée à la régularisation. Il en est souvent ainsi sur les grosses pousses à croissance très rapides et à petits appendices. Il se peut aussi que dans un système aussi complexe que celui que nous étudions et qui peut intéresser simultanément de 185 à 205 termes, nous ayons à compter avec certaines avances et certains retards que le

(1) Hormis certaines répétitions possibles.

matériel restreint dont nous avons disposé ne nous permet pas d'apprécier.

3. — *Orientation des préparations.*

Dans les descriptions qui vont suivre, je supposerai le grand axe de la section horizontal, son petit axe vertical. L'observateur sera placé perpendiculairement à la section, au centre de la masse de fibres primitives qui est à la fois le centre de figure de la masse libéro-ligneuse et le centre de figure du stipe. L'observateur central regardera l'objet dont il parle ; la droite et la gauche de cet objet seront définis par la droite et la gauche de l'observateur. Parfois l'observateur central sera considéré comme immobile au centre de figure, dans ce cas je le supposerai regardant la plus petite et par suite la moins courbée des deux faces du stipe. Dans les deux échantillons que j'ai analysés, les spires dextres qui traversent cette face sont moins courbées, et elles comprennent un plus grand nombre de termes que les spires dextres de la face postérieure. Exceptionnellement, et seulement lorsque cette obligation me sera imposée par les déplacements qu'a subis la masse libéro-ligneuse, je placerai l'observateur au point de rencontre des axes horizontaux et verticaux de la section. Il est d'ailleurs bien entendu que la face supérieure de la préparation est supposée collée contre le cover, alors que la face inférieure porte sur le slide. L'observateur a ainsi la tête tournée vers le sommet du rameau, les pieds à l'opposé. Nous avons vu que cette condition est réalisée pour la préparation inférieure et pour la préparation moyenne du premier échantillon. La préparation supérieure est collée à l'envers, c'est-à-dire que sa face supérieure est appliquée contre le slide ; il faudra donc l'étudier en la renversant face pour face (1). Quant à la préparation de M. Hovelacque, j'ai déjà dit l'incertitude que je conservais au sujet de son orientation. Dans cette

(1) C'est de cette manière que je l'ai dessinée, fig. 2, Pl. I.

plaque, en effet, telle qu'elle est montée aujourd'hui, les spires à deux termes de l'écorce moyenne sont bien sénestres comme celles du premier échantillon, mais tandis que les trois termes d'une série polaire s'y succèdent en ordre sénestre, ces trois termes se succèdent en ordre dextre sur le premier échantillon. N'est-ce là qu'une différence d'orientation tenant à ce que la tranche est collée sur le slide par sa face supérieure? Y a-t-il en même temps un fait d'hétérodromie? N'y a-t-il que l'hétérodromie seule? Faute d'indications suffisantes, je dois laisser ces questions sans réponses.

J'ai cru devoir insister quelque peu sur ces considérations d'orientation parce qu'elles ont été trop négligées jusqu'ici dans les études de végétaux fossiles. Elles nous ont rendu, à M. Renault et à moi, de grands services dans notre étude des Poroxylons. C'est particulièrement quand il s'agit de systèmes aussi complexes que ceux auxquels nous avons affaire ici qu'elles sont d'un très grand secours. Quant au mode d'orientation adopté que je caractérise en disant que l'observateur est central, de tous les systèmes que j'ai expérimentés, c'est celui que je trouve de beaucoup préférable à tous les autres par la netteté et la facilité de ses indications.

4. — *Description histologique de chaque région.*

A. — LA MASSE LIBÉRO-LIGNEUSE

Fig. 4, 5, pl. I, 6, 7, 8, 9, 10, pl. II.

α. — *Le bois primaire.* — Le bois primaire du *Lepidodendron Hartcourtii* forme une couronne continue à pointements trachéens externes. Tous les éléments ligneux s'y touchent directement sans interposition de fibres primitives, hormis dans les régions polaires simples qui procèdent à l'émission d'une trace foliaire. En ces points spéciaux, les fibres primitives forment de petits amas qui n'ont guère été remarqués jusqu'ici,

à moins cependant que ce ne soit ce dispositif qui ait conduit le dessinateur de Lindley et Hutton au mode de représentation des régions polaires adopté fig. 1, pl. 99 du *Fossil Flora of the Great Britain*, ce que je ne crois pas (1). Ces très petits groupes de fibres primitives, enfermés dans quelques régions polaires, y paraissent comme un tissu amylifère. C'est une manière d'être très répandue chez les Cryptogames vasculaires et qui nous a valu la création du terme *amylome* (2). Les trachées, plus grêles que les autres éléments ligneux, sont localisées à la périphérie de la masse vasculaire sous forme de pointements ou pôles très accusés, très saillants, dont nous étudions plus loin, avec tout le soin nécessaire, les formes et les relations réciproques. Ces trachées ont une section polygonale fréquemment étirée au contact du liber, isodiamétriques quand elles sont plus intérieures, et alors grossissant rapidement et passant aux vaisseaux rayés étroits. La base des pôles simples et celle des pointements doubles est formée de vaisseaux rayés qui relient les trachées aux vaisseaux scalariformes ordinaires. Deux pointements voisins peuvent être reliés par des trachées qui tapissent alors la surface externe de la couronne vasculaire, c'est en particulier le cas quand ces éléments grêles superficiels, plus spécialement consacrés aux régions polaires et aux sorties, procèdent à la formation d'un pointement double.

Les éléments ligneux qui correspondent, comme nous le verrons, à la masse réparatrice du système, sont de larges vaisseaux scalariformes à section transversale polygonale, dont chaque face ne porte qu'un système de raies ou d'échelons. Le calibre de ces vaisseaux va en augmentant de la périphérie vers le centre. Ils sont très inégaux, coupés par des planchers très obliques et par là mériteraient peut-être le nom de tra-

(1) Sur la figure 8, Pl. III du *Lomatofloyos crassicaule* de Corda, on voit une indication de ces formations, elles sont placées très profondément dans la base des régions polaires.

(2) Comme ces fibres primitives ont été fréquemment détruites pendant la minéralisation, on voit souvent à leur place une sorte de lacune.

chéïdes. Les plus internes sont un peu plus courts que les autres et montrent des parois horizontales *réticulées*. Aucun de ces éléments n'a conservé de parois minces. Il est facile de reconnaître qu'ils proviennent tous de la différenciation centripète rapide d'une même zone procambiale initiale. A l'état normal, aucun vaisseau, ni aucune cellule ligneuse ne s'ajoutait à la face interne de la couronne vasculaire après la première différenciation. Celle-ci se terminait rapidement. Une fois formée, la couronne vasculaire pouvait grandir un peu par accroissement intercalaire de ses éléments, mais sans subir d'adjonction d'éléments nouveaux, soit par apposition à sa face interne, soit par intercalation entre les vaisseaux existants. J'ai déjà dit qu'on ne voyait pas de traces d'une telle adjonction à la face interne de la couronne vasculaire, *on ne voit pas non plus de vaisseaux recloisonnés ni de tissus écrasés dans cette couronne.* Il n'y a donc pas eu d'intercalations entre les éléments existants, soit par recloisonnement des éléments primaires à la manière des lièges diffus, soit par insinuation entre ces éléments à la manière des hyphes des Fucacées. Pour moi, la masse ligneuse primaire différenciait rapidement ses trachées et ses éléments grêles et pendant que les grands éléments de la couronne déjà caractérisés comme vaisseaux scalariformes, avaient encore des parois minces, ils pouvaient prendre un accroissement intercalaire sensible. Passé cette période, il y avait peut-être encore un certain accroissement intercalaire, mais il ne s'ajoutait pas de nouveaux vaisseaux, et ceux qui s'étaient formés ne se recloisonnaient pas. Je crois donc qu'il faut abandonner l'hypothèse de M. Williamson sur la croissance du bois primaire des Lépidodendrons. Les faits qui l'ont provoquée sont dûs à des inégalités dans la croissance de la zone vasculaire et de la masse des fibres primitives centrales (1).

(1) Je n'ai pas observé de thylles dans le bois primaire du *Lepidodendron Hartcourtii.*

Les variantes que l'on observe d'un échantillon à l'autre dans l'épaisseur de la couronne vasculaire, dans l'étendue de la cavité qu'elle limite, dépendent du calibre initial du rameau étudié. Les branches très grêles présentaient même un axe vasculaire plein comme le montrent les fig. 9 et 12. Partie XI et fig. 6. Partie XVI des Mémoires de M. Williamson (1).

Dans les deux échantillons que j'ai étudiés la couronne vasculaire primaire comprend 5 à 6 rangs de grands vaisseaux. Cette couronne est un peu plus épaisse en arrière qu'en avant. La partie réparatrice de la masse ligneuse était donc considérable (2).

β. *Les fibres primitives centrales.* (Fig. 11, Pl. II. Fig. 12, 12 bis, 13, 14, Pl. III). — Les fibres primitives centrales consistent en cellules très irrégulières, à section transversale polygonale, parfois aussi larges que les grands vaisseaux auxquels elles tiennent directement (3). Ces cellules sont courtes, placées en files verticales, ce qui tient à leur génèse aux dépens d'un même élément procambial recloisonné transversalement. Deux files voisines se raccordent par une cloison oblique. Les parois des fibres centrales sont lisses dans le spécimen de M. Hovelacque. Elles présentent en quelques points de l'autre échantillon des traces d'ornementation ; on dirait de petites ponctuations délicates alignées en hélice ou en reticulum, analogues à celles que j'ai figurées chez le *Phylloglossum*, et qui existent si fréquem-

(1) Il demeure entendu que pour ces deux spécimens, j'accepte la spécification indiquée par mon savant collègue, mais sans qu'il me soit possible de la contrôler d'après les figures elles-mêmes. Au contraire, dans les deux échantillons que j'ai étudiés, les dimensions et l'épaisseur de la couronne vasculaire étaient sensiblement les mêmes.

(2) Malgré les différences de structure et de rôle que je relève entre les éléments ligneux des pointements et ceux de la couronne, je ne crois pas utile d'adopter les expressions de protoxylème et de métaxylème, pour les opposer l'une à l'autre.

(3) Dans le premier échantillon où toute la masse centrale est contractée et presque complètement isolée de la couronne vasculaire, les fibres primitives sont plus étroites et elles ont des parois plus minces que dans l'échantillon de M. Hovelacque.

ment chez les Lycopodes. Ce n'est là qu'une variante liée à l'inégale épaisseur des parois et à la conservation. Contrairement à d'autres Lépidodendrons, *Lep. selaginoïdes. L. vasculare, L. intermedium*, on ne voit chez le *Lepidodendron Hartcourtii* aucune cellule ligneuse interposée entre les fibres primitives, et par suite on comprend comment on a pu donner tout d'abord le nom de moelle au parenchyme central. Prise dans son ensemble, toute la masse centrale présente un vague arrangement radial par rapport au centre de figure, c'est une sorte de convergence grossière des éléments vers ce point, comme s'ils avaient été légèrement étirés radialement vers la périphérie. Ni l'un ni l'autre de mes deux spécimens, non plus que les figures que j'ai pu étudier, ne montrent vers le centre de la masse *des fibres primitives étroites* ayant conservé leur aspect initial comme cela se voit dans une section de *Lepidodendron fuliginosum* que M. Hovelacque m'a communiquée.

Le contact des vaisseaux ligneux avec les fibres primitives centrales est brusque. Ce contact direct d'un bois aussi différencié que les vaisseaux scalariformes du *Lepidodendron Hartcourtii* avec un tissu que l'on identifiait à la moelle aurait dû suffire, me semble-t-il, à mettre les observateurs en éveil contre cette interprétation du tissu central. Je sais bien que la plupart des auteurs classiques donnent très improprement le nom de moelle au tissu central du faisceau multipolaire des racines, homologuant ainsi ce tissu au tissu central des tiges ; et que dès lors on peut dire qu'on voit dans les racines à faisceau large des exemples de vaisseaux ligneux directement en contact avec le tissu fondamental, mais cet exemple repose sur une erreur d'interprétation. Le tissu central de ces racines n'a pas du tout la valeur qu'on lui attribue dans ce cas, il ne représente, lui aussi, que des fibres primitives recloisonnées qui dérivent de la masse procambiale et non pas directement du méristème primitif. Il en est de même ici et l'emploi du mot moelle donne les mêmes

résultats défectueux. Qu'ici aussi, comme dans une racine, la masse libéro-ligneuse devienne plus étroite, les fibres primitives centrales manquent totalement ; qu'elles deviennent simplement moins nombreuses, les fibres primitives paraissent des vaisseaux arrêtés dans leur différenciation comme dans ce bel exemple de la fig. 22, Partie XVI de M. Williamson, qui a été fourni par le *Lepidodendron Spenceri*. Que certaines d'entre elles conservent leur calibre primitif et ne se recloisonnent que peu ou pas transversalement et nous trouvons le dispositif si remarquable de ce curieux échantillon de *Lepidodendron fuliginosum* auquel je faisais allusion tout à l'heure. Qu'enfin il se produise, comme je l'ai déjà dit dans l'*Introduction*, une légère dispersion du bois, comme celle que nous trouvons chez le *Lepidodendron selaginoïdes*, alors les fibres primitives centrales sont identiques aux fibres primitives types que nous trouvons entre les éléments ligneux primaires, entre le bois et le liber, à la périphérie du faisceau ou formant l'amylome intercalé au bois. Toutes ces manières d'être si variées me semblent incompatibles avec l'hypothèse d'un tissu médullaire, c'est-à-dire d'un tissu déjà différencié au moment où la masse libéro-ligneuse est encore à l'état procambial. Au contraire, elles se montrent comme de très légères variantes de la différenciation d'une masse procambiale unique qui les produit en même temps que le bois et le liber primaires. Dérivant alors des mêmes éléments initiaux que les tubes ligneux et libériens, mais arrêtées un peu plus tôt dans leur différenciation, les fibres primitives peuvent être mêlées aux tubes conducteurs et appliquées contre ces tubes de toutes les manières possibles.

En même temps qu'elles ont été étirées radialement, les fibres primitives contiguës aux vaisseaux l'ont été tangentiellement. Sous l'influence de ces tractions les fibres primitives se sont recloisonnées. Toutes les cellules de la masse centrale peuvent être recloisonnées, mais ce sont surtout les éléments périphériques qui paraissent avoir été le siège privilégié de ces

divisions. Ces cloisonnements rappellent tout à fait ceux qui s'établissent dans un tissu parenchymateux déjà très différencié lorsqu'il s'agit de l'abriter contre une cause irritante, contact de l'air, traction tangentielle de la surface, etc. (1). Les cellules étirées se sont recloisonnées normalement à la surface de la couronne vasculaire et parallèlement à cette surface (2). C'est donc avant tout un cloisonnement qui a un caractère défensif, comme si la surface de contact de la masse des fibres primitives avec la couronne vasculaire avait été soumise, *par suite de la croissance intercalaire normale,* à un étirement radial et tangentiel intense. Les exemples de ces étirements abondent chez les plantes houillères. — Je n'ai vu jusqu'ici aucune production d'éléments ligneux ou libériens secondaires aux dépens de cette zone, c'est simplement le début d'une formation analogue à celle que nous trouvons dans les racines adventives de *Cucurbita maxima*, mais ici cette formation est beaucoup moins localisée, non seulement les éléments périphériques prennent part à cette néorformation, mais les éléments centraux eux-mêmes se redivisent. C'est peut-être même ce défaut de localisation dans une zone restreinte du nouveau tissu générateur qui est le plus gros obstacle à la production des tissus libéro-ligneux tardifs qui sembleraient continuer la différenciation de la couronne vasculaire. En trouva-t-on des exemples par la suite, ils auront certainement les caractères des tissus cicatriciels. Actuellement, je n'en connais pas d'exemple. Je n'ai rencontré que le fait, signalé par M. Williamson, du recloisonnement des fibres primitives. Il existe dans les deux échantillons que j'ai étudiés, plus rare

(1) Un de mes élèves, M. H. Couvreur, provoque à volonté des cloisonnements analogues dans le parenchyme fondamental d'une tige de Bryone en enlevant l'épiderme et le collenchyme sur une petite étendue. Lorsque l'ablation atteint la gaîne mécanique, M. Couvreur provoque les mêmes formations dans le tissu fondamental intérieur à la gaîne.

(2) Ces directions des cloisons sont faciles à reconnaître dans les cellules superficielles de la masse. Les cellules profondes trop éloignées de la surface, tiraillées dans toutes les directions, paraissent recloisonnées dans tous les sens.

dans le premier, plus accusé dans le spécimen de M. Hovelacque, encore plus accusé dans le *Lepidodendron fuliginosum* qui a une si forte tendance à donner des productions secondaires tardives. Une blessure comme un *taraudage*, ayant atteint le stipe dans son axe, ou un *sequestre*, suffirait certainement à les provoquer et à les localiser. Nous sommes donc loin, on le voit, d'un mode de croissance normal de la couronne vasculaire par une différenciation graduelle des fibres primitives centrales.

γ. *La couronne libérienne*, fig. 15, pl. III, fig. 16, pl. II. — Le liber forme autour du bois une couronne continue peu épaisse, limitée extérieurement par une gaîne protectrice. De distance en distance ce tissu pousse vers l'extérieur de petites saillies bientôt isolées, ce sont les masses libéro-ligneuses sortantes. Dans la masse du liber pointent plus ou moins fortement les régions trachéennes, et on y voit circuler des groupes d'éléments ligneux qui ne sont autre chose que les cordons ligneux des pièces sortantes déjà séparés de la couronne vasculaire et qui traversent le liber. Ce liber est exclusivement primaire, comme le bois.

Le liber s'attache au bois primaire par des fibres à parois minces, lisses, à section transversale isodiamétrique, plus larges que les autres éléments libériens et ayant une forte tendance à se disposer radialement par rapport au bois voisin. Cette disposition est surtout accentuée autour des groupes ligneux sortants ; de part et d'autre des languettes trachéennes provenant de la division d'un pôle, lorsque celles-ci sont encore très saillantes ; enfin entre les sorties et la couronne vasculaire, tant que les sorties ne quittent pas le sinus formé par les pôles. Je regarde ces éléments comme des fibres primitives. Elles forment un véritable amylome autour du bois. Par son dispositif comme par sa structure, cette région est éminemment propre à devenir le siège d'une zone à cloisonnements tangentiels et par conséquent d'une zone cambiale, mais il n'y a pas trace d'un cambium dans les échantillons

que j'ai étudiés. La prédisposition est nettement indiquée, mais la nouvelle zone génératrice n'existe pas encore, et cependant ces échantillons ne sont plus de la première jeunesse, puisqu'ils avaient l'un et l'autre une couche subéreuse d'une certaine épaisseur. En dehors de la zone des pôles, le liber comprend cinq à six assises de cellules disposées en rangées tangentielles presque régulières, alternantes l'une avec l'autre. Ces cellules à parois très minces paraissent au premier coup d'œil avoir toutes la même forme. En section transversale ce sont des hexagones ou des rectangles étirés tangentiellement, moins épais radialement. On ne peut distinguer parmi elles celles qui représentent les cellules grillagées et celles qui représentent le parenchyme libérien. En quelques points pourtant le liber présente une structure un peu plus complexe dans les arcs compris entre les pièces ligneuses superposées aux pointements trachéens doubles et les arcs secréteurs correspondants. Dans ces parties du liber, qui appartiennent nettement déjà à la pièce sortante, les cellules présentent une orientation manifeste par rapport au bois et par rapport à l'arc secréteur extérieur. Elles sont alignées sur des courbes qui vont de l'un à l'autre à la manière des méridiens sur la projection orthographique d'un ellipsoïde (1). Dans ces régions les cellules libériennes sont un peu étirées dans le sens de ces courbes, elles sont inégales, certaines étant plus grandes, d'autres plus étroites, la largeur restant la même. Il y a là manifestement une différenciation plus grande des éléments libériens. Différenciation qui s'accentuera encore à mesure que la sortie s'éloignera du centre de figure du stipe. Même dans ces points je n'ai pu constater directement l'existence de ponctuations criblées. Il n'est pas surprenant d'ailleurs, vu la délicatesse de ce tissu, que sa conservation laisse quelque peu à désirer. Nonobstant

(1) La projection étant supposée faite sur le plan d'un méridien.

ces points privilégiés, la grande simplicité et la grande minceur du liber de ce stipe contrastent d'une manière extrêmement frappante avec la complexité relative et la puissance de développement du même tissu dans les tiges des Sigillaires des Heterangium, des Lyginodendrons et des Poroxylons (1).

Vers l'extérieur du liber, en général à sa limite externe, qui est formée d'une à deux rangées de fibres primitives à parois minces, *mais sans que cette zone soit un lieu exclusif de localisation*, on voit des cellules de même forme que les autres ou un peu hypertrophiées, remarquables soit par la modification de leur paroi cellulaire qui paraît avoir été comme subérisée, soit par leur contenu brun. Ce sont des tubes à tannin ou à gomme analogues à ceux que M. Renault a découverts dans le liber et dans le tissu fondamental des Poroxylons. Je crois, comme mon savant ami, qu'il s'agit bien encore de l'une ou de l'autre de ces deux catégories d'éléments glandulaires. Pour ne rien préjuger sur la nature de leur contenu je leur conserverai la désignation plus générale de laticifères. Ils sont très nombreux, répartis de distance en distance tout le long du bord du liber. Au premier abord, il ne paraît pas y avoir d'ordre simple dans leur distribution ; on en trouve en effet un nombre variable entre deux points homologues. Nous verrons cependant que cette répartition est plus régulière qu'elle ne le paraît à première vue et qu'elle est surtout liée à la distribution des appendices dans la région considérée, n'étant réellement troublée que par les laticifères qui se développent parfois plus profondément jusque contre les éléments ligneux (2). Les dimensions et les formes des cellules sécrétantes

(1) Dans ces trois derniers genres, le liber primaire, et plus encore le liber secondaire, a identiquement la structure du liber primaire et celle du liber secondaire de nos Cycadées. Le liber du *Lepidodendron Hartcourtii* n'y ressemble pas du tout.

(2) On ne peut donc dire ici que les cellules glandulaires soient une dépendance exclusive de telle ou telle région du liber, péricambium, zone grillagée, ou amylome libérien. Elles sont surtout dans le péricambium. On en voit aussi dans les autres régions.

sont un peu variables, lorsqu'elles s'hypertrophient ; elles peuvent devenir très grosses et très irrégulières, surtout quand elles sont groupées. En dehors des points qui correspondent aux traces foliaires les plus extérieures, les laticifères sont isolés. Lorsque le bois de la pièce sortante prend la forme d'une ellipse à grand axe transversal, les éléments sécréteurs deviennent plus nombreux dans la région correspondante et en même temps plus volumineux. Il se fait un îlot glandulaire au dos de la pièce sortante. Ce développement du tissu glandulaire ira s'accentuant fortement à mesure que la pièce sortante prendra plus d'autonomie et s'éloignera davantage du centre de figure du stipe. Ces tubes laticifères sont très semblables aux tubes sécréteurs des Poroxylons, comme ceux-ci ils sont capables de s'hypertrophier, ils sont également formés de cellules allongées, placées bout à bout, plus rarement de cellules isolées; l'état concrété de leur contenu est le même. Malgré toutes ces ressemblances histologiques, la valeur morphologique de ces éléments dans le *Lepidodendron Hartcourtii* et dans les Poroxylons reste très différente.

Je n'ai rien vu qui autorise à admettre l'existence de fibres libériennes à la périphérie du liber du *Lepidodendron Hartcourtii.* Il est probable qu'on aura pris leurs laticifères pour ces sortes de fibres. La confusion a été faite dans la pièce sortante libre.

Au point de vue physiologique, il convient de remarquer la différence de proportion qui existe entre l'appareil aquifère (vasculaire) et l'appareil libérien; le premier est absolument prépondérant, le second est au contraire réduit, mince, à éléments peu différenciés. Cette inégalité est beaucoup moins accusée et même disparaît complètement dans la partie libre des traces foliaires.

B. — L'ÉCORCE INTERNE.

Fig. 16, Pl. II. Fig. 1, Pl. III.

α. — *La gaîne protectrice.* — Les tissus corticaux s'attachent au liber par une assise de petites cellules à parois minces étirées tangentiellement, légèrement aplaties dans le sens radial, par conséquent très semblables, en section transversale, aux fibres primitives superficielles qui forment la région péricambiale du liber. Il faut une recherche très attentive pour fixer la position de cette gaîne, car en ce point ses éléments n'ont pas de cadres d'épaississement et la subérisation des parois a dû être très faible. Bien que je ne mette pas en doute la continuité de la gaîne tout autour de la masse libéro-ligneuse du stipe du *Lepidodendron Hartcourtii,* en beaucoup de points sa présence est impossible à constater. Nous verrons par contre cette zone beaucoup plus accusée autour des pièces sortantes dans la traversée de l'écorce interne et de l'écorce moyenne. C'est même ce qui me détermine à insister un peu sur cette zone limite de l'écorce interne qui n'est guère visible au point où nous sommes.

β. — La *zone profonde* ou *zone rayonnée.* — La partie de l'écorce interne qui est contiguë à la gaîne protectrice était légèrement différenciée par rapport au reste de cette écorce sans toutefois former, comme dans le *Lepidodendron fuliginosum,* une zone rayonnée caractérisée. Cette assise comprend dans mes spécimens deux à quatre rangées de cellules elliptiques d'autant plus larges et plus épaisses qu'elles sont plus extérieures. Les plus internes sont à peine plus grandes que les cellules de la gaîne ; les plus externes ont la taille des éléments qui forment la grande masse de l'écorce interne. Les cellules de cette zone laissent entre elles des méats qui vont en grandissant vers l'extérieur. Le tissu passe ainsi rapidement à un parenchyme lâche. Dans toute cette partie on reconnaît une tendance manifeste à disposer les éléments en files radiales

et tangentielles mais sans cependant arriver à produire un étui rayonné bien accusé.

γ. — *La zone moyenne.* — La zone moyenne de l'écorce interne forme sa grande masse. C'est un parenchyme lâche à cellules elliptiques de taille moyenne, courtes, avec parois minces, laissant entre elles des méats triangulaires. Ces éléments sont un peu plus serrés autour des pièces sortantes, sans cependant leur former un étui comme celui que montrent quelques échantillons de *Lepidodendron fuliginosum* (1) ni comme ceux de la fig. 1 de l'échantillon 31 de Binney. La délicatesse de cette zone était très grande. Il est bien rare qu'elle ne soit pas complètement détruite (2). Malgré une dissolution partielle déjà très avancée, ce tissu est encore suffisamment conservé dans l'échantillon de M. Hovelaque pour qu'on puisse en prendre une idée (3). C'est surtout à la périphérie des pièces sortantes, ou sous forme de grande plage englobant plusieurs sorties, que j'ai pu l'observer (4). Dans le premier échantillon tout ce qui n'avoisine pas immédiatement les traces foliaires est détruit.

δ. — La *zone externe.* — L'écorce interne s'unit à l'écorce moyenne par une mince zone superficielle de une à trois rangées de cellules, un peu aplaties et étirées tangentiellement,

(1) Ce dispositif ne se rencontre pas dans tous les échantillons de *L. fuliginosum.*

(2) M. Williamson, attribuant cette mauvaise conservation à une différence de consistance du tissu, y voit un caractère spécifique propre à différencier le *Lepidodendron Hartcourtii* du *Lepidodendron fuliginosum.*

(3) Je ne conseillerais pas de procéder par analogie dans ce cas et de venir par exemple conclure de ce qu'on peut voir chez le *Lepidodendron fuliginosum* à ce qui a dû être chez le *Lepidodendron Hartcourtii*; d'un Lépidodendron à l'autre, en effet, il y a de très grandes variations dans le tissu de cette région. C'est ainsi que M. Renault m'a montré un échantillon dans lequel cette partie est occupée par un tissu étoilé comme celui qui forme les diaphragmes des *Juncus.*

(4) Il se pourrait que, de même que chez le *Lepidodendron fuliginosum*, la zone moyenne du tissu cortical interne ait présenté des plages plus denses, plus solides, dans le voisinage des traces foliaires. Toutefois ce pourrait n'être aussi qu'un dispositif dû à l'élongation d'éléments orientés parallèlement aux pièces sortantes.

fréquemment dissociées comme si elles n'avaient pu suivre l'accroissement intercalaire de l'écorce moyenne. Les parois de ces éléments sont minces. Ils laissent entre eux des méats.

C. — L'Écorce moyenne

Fig. 18, 19. Pl. III. Fig. 20, 21, 22, 23. Pl. IV.

α. — La *zone profonde.* — La zone profonde de l'écorce moyenne, celle qui établit le contact avec l'écorce interne, est composée de cellules à parois minces, étirées tangentiellement, aplaties radialement. Elle comprend deux ou trois rangs de cellules bien adhérentes entre elles, formant une bande périphérique qui limite nettement l'écorce interne. Malgré la minceur des parois, ce tissu avait manifestement une assez grande solidité. Aux points de pénétration des traces foliaires dans l'écorce moyenne, la zone profonde s'épaissit et forme de grosses saillies dans l'écorce interne. Chaque pièce sortante vient s'enchasser dans l'une de ces saillies. En ces points les cellules de la zone profonde sont plus circulaires, elles laissent entre elles des méats et par là pourraient ressembler aux éléments de l'écorce interne. Elles en diffèrent par leur coloration et leur conservation.

β. — La *zone moyenne.* — Extérieurement à la zone profonde, l'écorce moyenne est formée de cellules à section transversale elliptique ou polygonale, à parois encore minces. Ces éléments sont alignés entre les pièces sortantes, mais les files se relèvent près de ces pièces pour les accompagner dans leur sortie. Cette zone est très accusée dans le premier échantillon. La minceur des parois cellulaires y tranche avec l'épaisseur relative des parois des éléments de la zone externe. La polarisation des files cellulaires y est aussi extrêmement accusée. Il n'en est pas de même dans l'échantillon de M. Hovelacque.

γ. — La *zone superficielle.* — Les éléments à parois minces de la zone moyenne passent insensiblement à un parenchyme à parois plus épaisses à éléments très inégaux, fréquemment recloisonnés, avec méats réduits ou même nuls, qui forme la zone périphérique de l'écorce moyenne. Les éléments de cette zone montrent un alignement général déterminé par les positions relatives des traces foliaires voisines. Cet alignement figure une courbe à concavité externe devant les sorties du second rang qui abordent la zone subéreuse. L'alignement est presque radial entre deux sorties de second rang. Au contraire, l'alignement est presque tangentiel entre deux sorties du premier rang. Les cellules de cette zone deviennent sensiblement plus petites vers la périphérie; en même temps un grand nombre d'entre elles se recloisonnent tangentiellement et radialement de manière à prendre un alignement général dans le sens radial.

Dans les points où les traces foliaires traversent cette région périphérique pour entrer dans la zone subéreuse, ces organes sont accompagnés postérieurement d'un arc plus ou moins épais d'un tissu très spécial que je désignerai sous le nom de *parichnos* (1). Le parichnos est limité par une sorte de gaîne. Il consiste en un parenchyme à cellules très inégales, parfois notablement plus petites que les cellules voisines. Les cellules externes sont un peu plus grandes que les autres et comme un peu étirées perpendiculairement à la couche qui les limite, alors que les cellules internes sont isodiamétriques. Abstraction faite de l'obliquité sous laquelle il est coupé, l'arc de parichnos devient de plus en plus épais en approchant de la zone subéreuse, et quand il traverse cette zone, son épaisseur

(1) De παρα : à côté de et de Ἰχνοσ : trace. (2)

(2) Comme nous l'avons reconnu depuis, avec M. Hovelacque, le parichnos est directement en rapport avec les deux glandes latérales qui accompagnent la trace foliaire dans la fronde.

(Note ajoutée pendant l'impression).

est souvent double de la partie libéro-ligneuse de la trace foliaire (1) au même niveau.

D. — ASSISE SUBÉREUSE

Fig. 24, Pl. III.

C'est par une transition insensible qu'on passe de la partie périphérique de l'écorce moyenne à la zone subéreuse caractérisée. Cette zone subéreuse a été produite par un cambiforme diffus, continu, sans aucune tendance dans nos échantillons à former un système de coins comme cela a lieu chez le *Lepidodendron selaginoïdes*. Ce liège est, par conséquent, très semblable à celui du *Lepidodendron fuliginosum*. Les cellules superficielles du tissu cortical moyen s'allongeaient un peu radialement, puis se cloisonnaient tangentiellement, et quelquefois aussi radialement, de manière à engendrer de longues files de cellules étroites placées entre l'écorce moyenne et le tissu des coussinets, mais sans qu'il soit possible de considérer l'élément le plus interne de chaque file comme la cellule mère spéciale de toute la file (2). Dans nos échantillons le liège n'avait certainement pas encore provoqué l'exfoliation des coussinets. Il est encore à l'état homogène c'est-à-dire qu'il n'est pas divisé en coins comme chez le *Lepidodendron selaginoïdes*, et qu'il n'est pas non plus divisé en bandes sclerifiées et en îlots à parois minces comme le liège du *Sigillaria spinulosa*. Ses files rectilignes empiètent souvent l'une sur l'autre. Les cellules subéreuses ont une section transversale rectangulaire ou carrée. Elles sont un peu allongées verticalement et terminées par des cloisons obliques comme il ressort nettement des figures de Witham, et comme

(1) Y compris son arc sécréteur.

(2) Ce cambiforme phellique diffus et superficiel du *Lepidodendron Hartcourtii* est à opposer au premier cambiforme phellique des Poroxylons si bien localisé à la périphérie de leur liber primaire.

le montre l'aspect de rayon ligneux que prennent certaines files sur la section transversale (1). Les parois cellulaires du liège ont la même épaisseur que les cellules superficielles de l'écorce moyenne. Au niveau du cambiforme diffus, cependant, les dernières cloisons tangentielles sont plus minces que les autres. Il est probable que, comme chez le *Lepidodendron fuliginosum*, les éléments les plus grêles de cette première zone subéreuse ont été vers le milieu de celle-ci, mais je ne vois pas dans ce dispositif une raison suffisante pour placer la zone génératrice du liège au milieu de la zone subéreuse. Le cambiforme diffus qui limite intérieurement le liège est un peu plus fortement ondulé que chez les spécimens de *Lepidodendron fuliginosum* qui m'ont été communiqués. Cette ondulation est due à son mode de génèse et à la manière dont les pièces sortantes traversent cette région. Il est très probable que les tissus profonds des coussinets pouvaient suivre pendant quelque temps l'accroissement diamétral provoqué par l'apparition du liège.

L'échantillon de M. Hovelacque, qui m'a ainsi permis de prendre une idée du liège du *Lepidodendron Hartcourtii* et de sa génèse, montre encore deux autres petites particularités intéressantes qui n'ont pas encore été signalées, que je sache, dans cette espèce ; je veux parler des *glandes corticales* et des petits *sequestres* que j'y ai observés. Je crois d'ailleurs que c'est à ces formations qu'il convient de rapporter quelques-uns des trous figurés par Witham ainsi que par Lindley et Hutton dans leurs croquis de la zone subéreuse de l'échantillon princeps.

En quelques points très superficiels de la périphérie de

(1) Ce sont très probablement d'une part ces pseudo-rayons de la zone subéreuse, et d'autre part l'élongation longitudinale des cellules subéreuses qui ont conduit jadis Lindley et Hutton à interpréter la zone subéreuse du *Lepidodendron Hartcourtii* comme une couronne ligneuse secondaire d'une plante dicotyledonée.

l'écorce moyenne, parfois même dans la région du cambiforme phellique et dans le liège, on voit de petits groupes de cellules à parois amincies, comme dissociées et écartées autour d'un méat par rapport auquel elles sont orientées. Le méat peut être où bien vide, où bien occupé par une paroi cellulaire abîmée. Il n'y a pas là à proprement parler de canal glandulaire avec épithélium entourant, mais comme un début de destruction d'un nodule cellulaire par une sorte de gommification. Ces nodules sont assez abondants. Ils sont très inégalement répartis. Fig. 25, Pl. IV.

Faut-il considérer comme liés à ces glandes corticales superficielles les petits sequestres dont il me reste à parler ? Il se peut que oui, mais je n'ose l'affirmer faute de documents suffisants. Ces sequestres se rencontrent dans les mêmes régions que les glandes corticales, zone subéreuse, cambiforme, phellique, zone superficielle de l'écorce moyenne. Ils sont aussi inégalement répartis mais ils sont en même temps beaucoup plus nombreux que les glandes. Ces sequestres consistent en un petit groupe de cloisons minces, disposées de manière à isoler soit une paroi cellulaire, soit un groupe de cellules, *soit une glande corticale*, en les entourant. Le tout se trouvait ultérieurement englobé dans la zone subéreuse lorsque le cambiforme phellique diffus s'installait en arrière du sequestre. Cette dernière condition du déplacement du cambiforme phellique pour enchasser le sequestre dans la zone subéreuse n'est pas absolument indispensable, le liège conservait une vie évidente pendant un temps assez long pour devenir directement le siège de formations semblables. Fig. 26, Pl. V.

5. — *Les régions polaires et les pièces sortantes dans la traversée du liber.*

Il me paraît impossible de séparer l'étude des régions polaires du *Lepidodendron Hartcourtii* de celle de la trace

foliaire dans sa traversée de la couronne libérienne. Les pôles, en effet, ont avec les sorties des rapports organiques intimes. On peut dire qu'ils sont l'origine des sorties, ou inversement, qu'ils reçoivent la terminaison inférieure de celles-ci. On ne peut donc parler de l'une de ces parties sans être obligé de donner quelques indications sur l'autre. De là des redites lorsque les pôles et l'origine des traces foliaires sont exposés dans des articles distincts, ou bien l'obligation d'étudier simultanément ces deux organes dans un même article. C'est ce dernier mode d'exposition que j'adopterai.

Ce qui frappe tout d'abord quand on regarde les régions polaires du *Lepidodendron Hartcourtii*, c'est à la fois la forte saillie que les pôles trachéens font dans la couronne libérienne et la diversité surprenante de leurs formes. La diversité de forme et de structure que montrent les petites masses ligneuses libres, alternantes avec les pôles, est non moins étonnante (1). Tous les observateurs ont fait cette double remarque. Witham lui-même l'a signalée et surtout figurée, mais jusqu'ici personne, à ma connaissance, n'a pu reconnaître un ordre dans l'agencement des régions polaires, non plus que dans l'agencement des masses ligneuses intercalées entre elles. Il est bien certain qu'il faut attribuer en très grande partie cet insuccès à la conservation imparfaite des échantillons étudiés. Cependant, même avec ce premier matériel, une étude d'ensemble permet de reconnaître qu'on a affaire à des stipes dont les frondes relativement petites sont d'une seule espèce, et de plus qu'elles ont une forte tendance à se disposer régulièrement, si même elles ne sont pas distribuées avec une régularité absolue. Dès lors il devient extrêmement probable que les divers aspects

(1) On retrouve ces mêmes caractères dans le *Lomatofloyos crassicaule* de Corda, dans un très grand échantillon d'*Ulodendron* que m'a communiqué M. Hovelacque, et dans quelques spécimens de *Lepidodendron fuliginosum* mais non dans tous.

des pôles trachéens ne sont que les sections horizontales que donnerait un même pôle coupé à divers niveaux. De même aussi il devient extrêmement probable que les divers aspects des masses ligneuses libres ne sont que les sections horizontales du bois de la pièce sortante à divers niveaux de sa traversée de la couronne libérienne. Il suffit donc, par suite, d'employer une méthode analogue à celle que M. Renault et moi avons appliquée aux Poroxylons pour déterminer l'état des régions polaires aux différents points de leur course, les rapports exacts des pôles avec les traces foliaires, et la structure de la pièce sortante aux divers niveaux de sa traversée du liber et même au-delà à travers l'écorce interne et l'écorce moyenne. Or, comme je l'ai fait remarquer, le seul travail qui nous ait apporté quelques données sur les rapports des pôles et des sorties chez le *Lepidodendron Hartcourtii* est précisément cette tentative incidente que M. Renault a faite dans le sens que j'indique ici. Cette tentative nous a fourni en même temps les premières données que nous ayons eues sur les variations de structure de la trace foliaire entre la couronne vasculaire et la zone subéreuse. Très frappé de ces résultats, j'ai donc cru devoir reprendre l'idée de M. Renault et l'appliquer au matériel exceptionnel dont je disposais. On verra, je pense, qu'il m'a été possible de pénétrer ainsi plus avant dans l'organisation du *Lepidodendron Hartcourtii*. A l'extrême rigueur l'étude directe et complète d'une seule coupe transversale bien conservée devrait presque suffire à faire connaître ces axes à nombreux appendices et à régions nodales peu importantes; mais outre qu'il est rare d'avoir des échantillons de végétaux fossiles suffisamment bien conservés dans toutes leurs parties pour permettre une telle étude, les données fournies par l'analogie ont si peu de valeur quand il s'agit de plantes si anciennes, qu'on ne peut se passer dans leur étude de vérifications directes. Or, j'avais précisément la possibilité de faire

ces vérifications. D'une part, en effet, les coupes successives d'un même rameau me permettaient de voir si les résultats trouvés à un certain niveau d'un spécimen se poursuivaient dans le même rameau, et d'autre part l'étude du magnifique échantillon de M. Hovelacque, en même temps qu'elle me permettait de vérifier sur un second spécimen les résultats trouvés dans le premier, me permettait aussi d'apprécier certaines variations purement individuelles (1).

Je vais montrer dans cet article ce que sont les régions polaires à leurs divers niveaux, leurs rapports avec les traces foliaires et la structure de la pièce sortante depuis son origine jusqu'à son entrée dans l'écorce interne.

Je ferai deux remarques préliminaires. En premier lieu, j'ai constaté que *les trachées les plus grêles sont toujours superficielles dans les régions polaires.* Il n'y a donc pas d'îlots trachéens dans les pointements polaires eux-mêmes (2). Ce résultat est extrêmement singulier, étant donnée l'origine de la pièce sortante, et la position que les trachées initiales y occupent. Il n'y a pas incompatibilité entre ces deux manières d'être, mais il est bon d'avoir l'attention attirée sur ce point. La seconde remarque préliminaire porte sur ce fait que *les régions polaires, quel que soit leur volume, ont leur influence*

(1) On objectera peut-être que j'admets ici une constance de rapports entre les régions polaires et les pièces sortantes qui est souvent contredite par les faits, les traces foliaires s'insérant uniquement « *où elles peuvent* ». Il en est certainement ainsi dans les axes sans régime régulier, et lorsque la trace foliaire a par rapport à l'axe un volume considérable, mais il n'en est plus de même dans les axes à appendices grêles et à régions nodales peu importantes comme ceux des Lepidodendrons, des *Picea*, etc. Il suffit alors qu'il y ait simplement une tendance à la régularisation dans une région, même peu étendue, pour que les rapports des traces foliaires et des régions polaires deviennent constants, ou du moins, suffisamment fixes pour que notre méthode soit applicable surtout quand on dispose de vérifications comme celles que j'ai indiquées.

(2) Nous verrons ultérieurement la petite restriction qu'il convient d'apporter à cet énoncé lorsque l'émission des traces foliaires est particulièrement hâtive comme dans un arc de l'échantillon de M. Hovelacque.

limitée dans la partie tout à fait superficielle de la couronne vasculaire. Si importante ou si réduite que soit une région polaire, l'influence du pôle ne s'étend pas au-delà du premier ou du second rang de vaisseaux scalariformes. Cette limitation de l'influence polaire, qui correspond à une différenciation du bois primaire en région d'émission des sorties et en portion réparatrice, est extrêmement remarquable, et d'accord avec ce que nous savons des Centradesmides actuelles.

D'après leur forme je distinguerai tout d'abord dans les régions polaires trois catégories de pointements : Fig. 27, 29. Pl. V. Fig. 30 à 38. Pl. V, Pl. VI et Pl. IV.

1° Des pointements triangulaires simples à large base ou *pointements simples.*

2° Des *pointements en lame mince* inclinés vers la droite.

3° Des pointements très larges à deux saillies ou *pointements doubles.*

La première catégorie de régions polaires comprend des pointements triangulaires très saillants à base large, bien appuyée sur la couronne vasculaire. Les côtés du triangle sont inégaux. Le côté droit, plus grand que le côté gauche, est bombé en son milieu (1). Tandis que le côté gauche s'élève brusquement de la couronne ligneuse, le côté droit, très oblique, s'y relie insensiblement. Très souvent, tout l'ensemble du pointement, ou simplement son extrémité, paraît s'incliner légèrement vers la gauche. Les éléments superficiels de ces pointements triangulaires sont des trachées grêles, déprimées. Elles s'appuient sur des éléments internes plus gros dont la section polygonale a des côtés bien rectilignes. Ces trachées polygonales sont encore orientées dans le sens général du pointement. A la base de celui-ci on trouve des vaisseaux rayés encore plus gros dont le grand axe est tangentiel. Ce sont eux qui raccordent le pointement à la couronne vasculaire.

(1) Ce dispositif n'est visible qu'au microscope.

Lorsque la conservation des spécimens est bonne, et qu'il n'y a pas eu de déplacements dans la région libérienne, cette première forme de régions polaires, que je regarde comme le type du pôle simple, et que je désigne sous le nom de *pointement simple*, est accompagné de deux cordons ligneux sortants libres dans le liber. Le cordon sortant de gauche, beaucoup plus grêle que l'autre, n'est séparé de la couronne vasculaire que par un ou deux rangs de fibres primitives. Il est elliptique, son grand axe étant dirigé radialement. Ses éléments sont peu nombreux, tous larges (1).

Le cordon ligneux droit est plus écarté de la couronne vasculaire que le précédent. Il est lui aussi elliptique, mais son grand axe est dirigé tangentiellement. Il contient des trachées grêles, nettement concentrées en une masse triangulaire, ou en une lame plus rapprochée de sa partie externe que de sa face antérieure. Nous verrons plus loin les variations que présentent le pôle simple et les deux traces foliaires qui l'accompagnent. Il ressort pour le moment de la description qui précède que les pôles simples sont caractérisés non-seulement par leur forme mais encore par leurs rapports avec deux pièces sortantes dont les différences de faciès et de structure sont très accusées.

La deuxième catégorie de régions polaires comprend des pointements inégalement longs, souvent très longs, d'autres fois beaucoup plus courts. Ils sont formés d'une ou de deux rangées de trachées grêles. Parfois le pointement est un peu plus épais et comme renflé à son extrémité libre. Lorsqu'ils sont allongés, ces pointements sont nettement inclinés vers la droite (2). Leur base est assez restreinte, les trachées qui les forment ont une section transversale déprimée. Elles sont orientées dans le sens du

(1) Ce sont des vaisseaux rayés. Parfois cependant on peut voir au centre de la masse quelques éléments plus grêles qui sont les premières trachées.

(2) Il est entendu au sujet de l'échantillon de M. Hovelacque que toutes les fois que nous parlons de la couronne vasculaire il faut changer droite en gauche et réciproquement.

pointement, toutes de même calibre, sauf celles de la base qui sont un peu plus grosses (1). Presque toujours, quand ces pointements en lame mince sont très longs, on voit à leur droite une masse ligneuse sortante elliptique à grand axe radial à éléments gros tous semblables (2, 3). Le plus souvent, ce cordon sortant tient encore à la couronne vasculaire par un élément ligneux, mais il n'est pas douteux que ce soit là une trace foliaire bien caractérisée. De suite se pose cette question : « Quels sont les rapports des sorties et des pointements trachéens? » A première vue, celle-ci semble se faire non pas sur les pointements polaires, mais entre deux pointements trachéens. Nous ne connaissons rien de tel dans la nature actuelle. Nous aurons l'explication de ces rapports en étudiant les variations de ces régions polaires. A gauche du pointement en lame mince nous trouvons une masse ligneuse identique à celle que j'ai signalée à la droite des pôles simples. Ces derniers rapports s'expliquent facilement, les pointements en lame mince étant placés à droite et immédiatement après un pôle simple. Nous verrons également, un peu plus loin, en détail, les variations que présentent les pointements en lame mince. Comme les pointements simples, les pointements en lame mince sont caractérisés non-seulement par leur forme et leur structure, mais encore par leurs rapports avec deux traces foliaires voisines et de plus par leurs rapports avec les pointements simples.

Les pointements trachéens de la troisième catégorie sont immédiatement reconnaissables à la double saillie trachéenne qui leur a valu leur nom de *pointements doubles*. Ils sont très larges, largement appuyés contre la couronne vasculaire. Leur petite pointe trachéenne de gauche est plus grande que

(1) Ce sont des vaisseaux rayés grêles.

(2) Ces éléments beaucoup plus gros que les trachées sont des vaisseaux rayés grêles semblables à ceux qui unissent les régions polaires, à la couronne vasculaire.

(3) Les trachées peuvent s'étendre un peu vers la gauche, sur le bord de la couronne vasculaire.

celle de droite, elle est inclinée vers la gauche. L'autre est ou radiale ou inclinée à droite, ou même réduite à une sorte de mamelon émoussé. Les trachées sont localisées aux deux pointes, le plus ordinairement elles vont de l'une à l'autre, et parfois descendent sur le flanc droit de la masse. Ces pointements doubles sont très saillants. Le côté gauche de la saillie forme un promontoire brusque ou même surplombant vers la gauche ; celui de droite se relie, au contraire, en pente douce à la couronne vasculaire. Une masse importante de petits vaisseaux rayés relie les régions trachéennes du pointement à la couronne. Lorsque le liber n'a pas été déplacé, on trouve en regard de ces pointements doubles une grosse masse ligneuse libre, ayant la forme d'une sorte d'ellipse qui aurait été légèrement pliée en son milieu. Le grand axe de la masse est tangentiel, légèrement concave vers l'extérieur ; d'où une face externe nettement déprimée et une face interne plus grande fortement bombée en avant. Les trachées les plus grêles sont étalées en une bande parallèle à la face externe et fortement rapprochées de celle-ci. Les vaisseaux rayés qui les bordent de ce côté sont plus gros que ceux qui les tapissent antérieurement. Aux pointements doubles correspondent donc des cordons ligneux sortants très rapprochés de la périphérie du liber, faisant même parfois bomber le liber dans l'écorce interne. Dans ces points les éléments du liber plus différenciés sont orientés par rapport à l'amas ligneux libre et par rapport à l'arc secréteur qui s'est différencié en regard, à la périphérie du liber. A gauche d'un pointement double nous trouvons un de ces cordons sortants, encore adhérents à la couronne vasculaire, que j'ai signalé précédemment à la droite des pointements en lame mince. A droite du pointement double se trouve un de ces cordons ligneux indépendants dont le grand axe est encore radial. Toutefois cet amas de droite est plus arrondi que celui que j'ai décrit à la gauche du pôle simple, et presque toujours il

contient un groupe très net de trachées centrales. Ces rapports si particuliers des pointements doubles sur leurs flancs droit et gauche sont dus à ce que chaque pointement double est placé entre un pointement en lame mince situé à sa gauche et un pôle simple placé à sa droite.

De ce premier examen il résulte clairement que nous avons la succession suivante en allant de gauche à droite :

1° Une masse ligneuse libre S'_g elliptique ou arrondie, à grand axe radial s'il s'agit d'une pièce elliptique, à trachées centrales s'il s'agit d'une pièce arrondie.

2° Un pointement triangulaire ou pôle simple P_1 dont l'extrémité libre est très légèrement inclinée à gauche.

3° Une masse ligneuse libre S'_d plus externe que S'_g, à grand axe tangentiel, à trachées grêles ramassées en une masse triangulaire déjà rapprochée de la face externe. Celle-ci tend à se déprimer et ses vaisseaux deviennent plus grêles que ceux de la face antérieure.

4° Un pointement trachéen en lame mince à base étroite très incliné vers la droite, $P'_{\delta g}$

5° Une masse ligneuse à grand axe radial S'_δ, sans trachées grêles, tenant encore à la couronne vasculaire, ou qui vient à peine de s'en séparer.

6° Un pointement double, c'est-à-dire à deux saillies trachéennes, ($P'_{\delta d} + P''_{gg}$), celle de gauche $P'_{\delta d}$ étant plus fortement saillante que celle de droite P''_{gg}.

7° En regard de ce point double est une pièce sortante très extérieure, à grand axe tangentiel et à trachées réparties en une lame tangentielle plus rapprochée de la face externe $S^{1\text{-}2}$. Les vaisseaux rayés de la face postérieure sont plus grêles que ceux de la face antérieure. Le liber voisin est orienté par rapport à ce bois. L'arc sécréteur qui appartient à cette sortie est très accusé.

Au-delà la série recommence, et si l'on a tourné, comme

je l'ai admis, de gauche à droite, nous retrouvons une nouvelle série de trois pointements trachéens, dont un double, et quatre pièces sortantes, semblables à celles que je viens de décrire. Toutefois on constate une légère différence, les termes de la nouvelle série sont coupés à un niveau plus élevé de leur course que les termes correspondants de la série précédente. Cette assertion est facile à vérifier immédiatement sur l'état des pièces sortantes que nous allons rencontrer. La première pièce sortante de la nouvelle série est plus grosse, plus circulaire, et un peu plus externe que la pièce homologue de la série précédente. On y reconnaît nettement des éléments centraux, plus grêles que les éléments extérieurs, ce sont ses trachées initiales. De même, la deuxième pièce sortante est plus externe et plus étalée tangentiellement que la pièce homologue de la première série. La différence de calibre entre ses vaisseaux rayés internes et externes est plus forte ; sa masse trachéenne est étalée tangentiellement entre ses vaisseaux internes et externes, *mais en restant complètement entourée par ceux-ci.* Tout son bois s'oriente par rapport à sa lame trachéenne. A la périphérie du liber, on voit quelques laticifères se grouper dans le plan de symétrie de cette masse ligneuse. — La troisième pièce sortante, celle qui, dans la première série, tenait encore à la couronne vasculaire par le sommet interne de son grand axe, est libre, ses éléments sont plus nombreux, orientés par rapport à un point central, mais tous encore de même calibre, ou les périphériques un peu plus gros que les centraux. Enfin, la quatrième pièce sortante forme dans cette deuxième série une forte bosse sur le contour de la couronne libérienne ; parfois même, elle est fortement engagée dans le tissu cortical interne. Sa masse ligneuse a peu changé, ses trachées se sont étalées davantage en une mince lame tangentielle. L'orientation des vaisseaux rayés tant internes qu'externes par rapport aux trachées est encore plus accusée.

Le liber forme un groupe de petits éléments disposés en files, qui vont du bois aux laticifères. Ceux-ci sont devenus plus nombreux, ils forment un amas plus épais, ou un arc plus étendu. Voir la série des figures 30 à 38, Pl. IV, V, VI.

Cette première indication qui nous montre les pièces sortantes de la deuxième série coupées à un niveau plus élevé que les pièces homologues de la première, nous conduit à regarder de même les régions polaires avec lesquelles elles sont en rapport comme coupées à un niveau plus élevé que les pointements homologues de la première série. Nous voyons ainsi que le pôle simple a sa pointe moins inclinée vers la gauche; son flanc droit forme un talus à très faible inclinaison, sans ressaut vers son milieu; dans sa masse on voit *quelques fibres primitives à parois minces qui y forment une sorte d'amylome.* Ce groupe de fibres primitives est plus rapproché du côté droit du pointement que de son côté gauche et il est placé vers la base du pointement, dans la région des vaisseaux rayés (1).— Le deuxième pointement ou pointement en lame mince, si long et si nettement incliné vers la droite dans la première série est ici fortement raccourci. Il tend manifestement à se réduire à une petite pointe très courte, saillante encore vers la droite, mais qui ne comprend plus que quelques trachées grêles. Quant au pointement double, sa saillie de gauche est un peu atténuée, de sorte que son côté gauche est moins fortement concave vers la gauche. Sa pointe trachéenne droite est très atténuée, mousse, et tend à se réduire à une sorte de ressaut sur un talus qui descend doucement de la pointe gauche à la couronne vasculaire. En résumé, la saillie trachéenne qui occupait la droite du pointement double tend à s'atténuer pendant que celle de gauche persiste.

Les pointements étudiés directement se montrent donc bien

(1) Il n'y a pas de trachées grêles autour de cet amylome comme cela se voit à l'origine de la pièce sortante des *Osmunda*.

en même nombre et dans le même ordre que dans la première série, ils ont les mêmes rapports avec les pièces sortantes. Eux aussi, comme les pièces sortantes, sont légèrement modifiés, ils sont coupés à un niveau plus élevé. Ce système est donc bien, comme je le disais en commençant, l'équivalent du système précédent, à cela près que tous ses termes sont coupés en des points de leur course plus élevés et plus externes que les précédents.

Si donc nous continuons notre rotation vers la droite, nous pouvons prévoir déjà que nous allons rencontrer une nouvelle série dont les termes seront sectionnés à un niveau encore plus élevé que ceux de la deuxième série, et comme il en est bien effectivement ainsi, nous entrevoyons la possibilité, les traces foliaires et les régions polaires étant très nombreuses, nous entrevoyons, dis-je, la possibilité de trouver les sections successives que peuvent présenter les pointements trachéens et les pièces sortantes aux différents points de leur course. Il nous sera même très facile de classer ces coupes successives les unes par rapport aux autres. Par suite également, nous ne pouvons manquer de trouver les rapports des pièces sortantes avec les pointements trachéens. Les variantes que montrent les configurations des pointements trachéens et des pièces sortantes correspondant à des sections de ces pièces faites à des niveaux différents ; comme pointements et sorties, sont tous de même nature ; on peut, quand on a reconnu leur distance relative au centre de figure ou à l'extérieur, ou encore le niveau où elles ont été pratiquées, on peut, dis-je, y voir les sections successives d'un pôle trachéen ou d'une sortie aux différents points de leur course. C'est exactement la méthode qui nous a servi chez les Poroxylons à tirer des quelques coupes dont nous disposions, M. Renault et moi, la structure du faisceau de ces plantes dans l'étendue des tiges moyennes. Naturellement, il se pourra que de ci de là nous trouvions cer-

taines pièces en avance et d'autres en retard, non-seulement même il en sera ainsi pour des pièces isolées, mais pour des séries entières et pour des groupes de séries. Ce sont là des variantes comme il s'en rencontre dans les plantes les plus régulières et dont nous sommes avertis de prime abord par la répartition des pièces sortantes dans l'écorce interne et dans l'écorce moyenne. La règle entrevue ci-dessus dans les rapports des pointements trachéens et des pièces sortantes indique même une plus grande régularité que celle que nous pouvions soupçonner tout d'abord.

Ceci posé, nous reconnaissons, en effet, que les termes de la troisième série sont coupés à un niveau plus élevé que ceux de la seconde ; généralement alors la sortie qui correspond à son pointement double est complètement entrée dans l'écorce interne. Le pointement double a perdu sa saillie trachéenne droite. Le pointement en lame mince est réduit à une toute petite pointe saillante vers la droite, le pôle simple de la série a son côté droit rompu ou ouvert, ses fibres primitives internes se continuent directement avec le liber. En même temps par la manière dont se disposent quelques vaisseaux rayés de son plancher basilaire, celui-ci semble se soulever vers l'extérieur. *C'est la première indication de la pièce sortante, ou sa terminaison inférieure, comme on voudra* (fig. 36 pl. VI). Il suffirait de continuer ainsi de proche en proche pour trouver toutes les variations des régions polaires et des traces foliaires. Je résumerai les résultats obtenus en donnant ce que font un pôle et une pièce sortante avant de repasser par le même état (1).

Je partirai de l'état moyen du pôle trachéen, c'est-à-dire tel que je l'ai représenté fig. 28, pl. V, à son état de pôle simple et

(1) Il y a lieu de prévoir, comme j'ai déjà eu soin de l'indiquer à propos du spécimen de M. Hovelaque, qu'il faudra peut-être parfois changer dans ma description droite en gauche et vice-versa si, comme je le pense, deux branches d'une dichotomie égale sont symétriques l'une de l'autre par rapport à un plan ou simplement s'il y a hétérodromie.

je supposerai que nous coupons horizontalement ce pôle à des niveaux de plus en plus élévés. Ma section intéressera du même coup les deux pièces sortantes entre lesquelles est compris le pôle.

A ce premier niveau, que j'appellerai niveau 1, fig. 39, pl. VII, fig. 30, pl. V, fig. 6, pl. II, le pôle P_1 est triangulaire, très saillant. Sa pointe est légèrement inclinée à gauche. Son côté gauche est presque radial, son côté droit convexe forme un talus en pente douce qui se rattache à la couronne vasculaire. Sur le tiers supérieur du talus est une petite bosse mousse plus ou moins forte, ce pôle P_1 est placé entre deux pièces sortantes *représentées uniquement à ce niveau par des masses ligneuses, libres dans la couronne libérienne générale.* J'appellerai S'_g celle de gauche, et S'_d celle de droite. La pièce S'_g est elliptique, à grand axe radial, elle est séparée du bois par un ou deux rangs de fibres primitives. Ses éléments centraux sont un peu plus grêles que ses éléments externes. Ils forment une masse centrale ou une petite lame radiale. Ces éléments un peu plus grêles, sont des trachées à section transversale polygonale ou de petits vaisseaux rayés. Les éléments plus externes sont orientés par rapport à ceux-là. L'extrémité libre du grand axe de la masse S'_g est moins externe que la pointe du pôle P_1. La sortie S'_d est grossièrement elliptique à grand axe tangentiel. Son bord externe arrive au niveau de la pointe du pôle P_1 Ce bord est déprimé ou même presque plat alors que le bord interne est fortement bombé vers le centre. Les trachées grêles, un peu étirées tangentiellement, forment une mince lame tangentielle plus épaisse en son milieu, d'où souvent pour la masse trachéenne l'aspect d'un triangle dont un sommet regarde l'intérieur. Cette lame trachéenne est séparée du bord externe de la masse par deux rangs de vaisseaux rayés grêles et de son bord interne par deux ou trois rangs de vaisseaux rayés plus grands. Aussi bien pour les uns que pour les autres, il y a une tendance à s'orienter par rapport à la lame trachéenne.

Les grands vaisseaux de la face interne se réunissent à ceux de la face externe à droite et à gauche de manière à entourer les trachées de toutes parts. Le bord interne de la sortie S'_d est séparé de la couronne vasculaire par trois ou cinq rangs de grands éléments à parois minces à section transversale isodiamétrique, ou un peu allongés radialement. Un groupe de laticifères, probablement tubes à tannin ou à gomme, s'isole à la périphérie de la couronne libérienne, dans le plan radial de cette pièce sortante et se prépare à l'accompagner (1).

A un niveau plus élevé que j'appellerai niveau 2, le pôle P_1 a une base *plus large*, fig. 40, 41, 41 bis, pl. VII, fig. 33, pl. VI, fig. 7, pl. II. L'inclinaison de sa pointe vers la gauche disparaît. On voit quelques fibres primitives dans la masse même du pôle, vers sa base et un peu à sa droite. On compte successivement, 1, 2, ou 3 de ces fibres primitives. Elles forment en ce point une sorte de tissu neutre que les auteurs allemands prennent l'habitude de nommer amylome, mais qu'il vaut mieux ne désigner que comme une dépendance des fibres primitives spécialisées en ce point comme tissu de réserve. Le nombre de ces fibres primitives ira en augmentant à mesure qu'on s'élevera. Ce tissu s'étale vers la droite en même temps que le bord droit s'amincit au point de se rompre. On ne voit pas de trachées sur le bord de cette masse de fibres primitives qui est limitée par des vaisseaux rayés grêles mais non des plus étroits. La masse sortante de gauche S'_g compte un plus grand nombre d'éléments que précédemment. Elle est plus arrondie avec un petit amas central de trachées initiales. Il arrive même que ce groupe trachéen se rapproche déjà du bord externe de la masse. Les vaisseaux rayés entourants sont orientés de manière à tourner leur grand axe vers les trachées. La

(1) Suivre la description de S'_d sur la fig. 33, pl. VI, la pièce homologue de S'_d sur la fig. 30, pl. V, est un peu en retard. Sur la fig. 33, pl. VI, la pièce homologue de S'_d porte la notation S''_d, parce qu'elle est prise dans la seconde série ou série du pôle P_2.

distance entre la masse S'_g et la couronne vasculaire a augmenté d'une rangée. — La pièce sortante de droite S'_d est aussi un peu plus extérieure qu'au niveau 1. La configuration générale de son bois s'est légèrement modifiée. Son grand axe demeurant toujours tangentiel, son bord externe est devenu très plat ou même il présente déjà une tendance à devenir concave vers l'extérieur. Les trachées y forment une lame tangentielle mince entre les vaisseaux de la face interne et ceux de la face externe. Les vaisseaux de la face externe sont plus petits que ceux de la face interne. Tous sont cependant primaires et j'insiste sur ce point pour rectifier d'avance une faute d'interprétation qui peut conduire certains auteurs à voir dans ce bois un bois diploxylé. Une erreur de ce genre court les livres classiques à propos de la fronde des Isoëtes, c'est pourquoi je crois indispensable de prémunir les chercheurs contre cet écueil. Les tubes laticifères qui doivent accompagner la masse ligneuse sortante deviennent plus nombreux, ils se rapprochent et se groupent plus fortement.

Au niveau 3, le pôle P_1 continue d'élargir sa base, il diminue un peu de hauteur Fig. 42, 43, pl. VII, fig. 36, pl. VI. Sa masse de fibres primitives a provoqué une rupture de sa partie droite qui est ainsi transformée en un double bec. L'un de ces becs tient à la partie gauche à laquelle elle donne la figure d'un crochet dont la pointe serait tournée à droite et en bas. L'autre bec forme une pointe beaucoup plus courte, inclinée à gauche. Les vaisseaux rayés qui forment le plancher de l'îlot amylifère se disposent de manière à former un bombement saillant vers l'extérieur. Cette saillie, d'abord très faible, s'accentue et s'élargit quand on s'élève. Cette saillie est la première indication de la pièce sortante. Elle ne contient pas de trachées à ce niveau, mais simplement des vaisseaux rayés du calibre de ceux qui sont à la périphérie de la couronne vasculaire. — La pièce sortante S'_g est complètement circulaire ou même elle redevient

déjà elliptique, le grand axe de l'ellipse étant cette fois tangentiel. Le nombre de ses éléments s'est encore accru. Les trachées initiales s'y différencient nettement des autres vaisseaux. Elles forment un amas elliptique ou triangulaire plus rapproché du bord externe de la masse et dont la plus grande largeur est perpendiculaire à la ligne de symétrie. Elle présente au contraire son maximum d'épaisseur dans cette dernière direction. Les vaisseaux compris entre le bord antérieur de la sortie et son groupe trachéen sont plus grands que ceux qui sont compris entre le groupe trachéen et le bord externe. Cette différence, déjà pressentie au niveau 2, s'est accusée davantage et elle ira s'accentuant à mesure qu'on s'élèvera. — La trace foliaire S'_d s'est élargie, son bord externe est devenu légèrement concave vers l'extérieur, son bord antérieur est très convexe vers l'intérieur. La bande trachéenne conserve le même faciès et la même position entre les vaisseaux rayés antérieurs et postérieurs. La pièce sortante s'est encore avancée vers l'extérieur.

Au niveau 4, le pôle P_1 très élargi est largement ouvert. *Il est transformé en une pièce triple*, fig. 44, 44 bis, pl. VII, fig. 10, pl. II. A gauche nous avons une lame trachéenne mince P_{1g} formée de un à deux rangs de trachées grêles, qui pointe vers l'extérieur mais en s'inclinant fortement à droite. La base de cette lame trachéenne est étroite relativement à sa longueur. Son extrémité libre est renflée, mais ce renflement s'atténue assez rapidement quand on s'élève en même temps que la longueur de la lame diminue. La partie gauche P_{1g} du pôle P_1 passe donc à l'état de pointement en lame mince. A droite la petite pointe P_{1d} formée par les trachées qui bordaient de ce côté les fibres primitives reste comme une petite saillie trachéenne inclinée à gauche. Cette pointe P_{1d} s'éloigne insensiblement vers la droite de manière à se rapprocher d'une autre petite pointe P'_{δ_g} située à sa droite (1). Plus haut l'ensemble des vaisseaux

(1) P'_{δ_g} n'est autre chose qu'une lame trachéenne mince très raccourcie; comme telle son extrémité libre est inclinée à droite. Elle provient de la partie gauche d'un pôle P'_δ située à droite du pôle P_1

rayés qui porte les deux pointements P_{1d} et $P'_{\delta g}$ s'élèvera vers l'extérieur en repoussant la sortie S'_d et en engendrant le pointement double qui correspondra à cette sortie. Pour le moment c'est-à-dire au niveau 4, les pointements trachéens P_{1d} et $P'_{\delta g}$ occupent le fond d'une partie concave déprimée par rapport aux saillies trachéennes voisines. La partie droite du pôle P_1 s'éloigne donc un peu vers la droite pour s'unir à un autre pointement et procéder à la formation d'un pointement double. Entre les deux parties P_{1g} et P_{1d} du pôle P_1 on voit s'élever une masse de vaisseaux rayés tous de même calibre et de la taille de ceux qui unissent les trachées au reste de la couronne vasculaire. La masse est elliptique, son grand axe est placé radialement. Elle tient à la couronne vasculaire par quelques éléments. Elle ne comprend encore qu'un petit nombre de vaisseaux. Il n'y a pas de trachées. *J'appellerai* S_1 *cette trace foliaire qui s'est faite aux dépens du pôle* P_1 *dans son intérieur et un peu à sa droite.* Cette origine de la pièce sortante est essientiellement différente de l'origine de la pièce sortante des Sigillaires, des Poroxylons et des Phanérogames actuelles, elle nous indique une différence profonde entre le *Lepidodendron Hartcourtii* et ces formes végétales.

La masse sortante S'_g est franchement elliptique, son grand axe étant tangentiel. *Ses éléments deviennent toujours de plus en plus nombreux.* Ses vaisseaux rayés internes deviennent plus grands que les vaisseaux rayés externes. Tous sont primaires, les uns et les autres sont orientés par rapport aux trachées. Celles-ci s'étalent en une lame tangentielle. Cette trace foliaire s'est écartée de la couronne vasculaire. Elle y demeure attachée toutefois par des éléments à parois minces *orientés radialement.*

La trace foliaire S'_d a son bord extérieur légèrement concave. Les vaisseaux rayés placés de ce côté deviennent toujours plus petits, ceux du bord antérieur, au contraire, deviennent

plus gros. Entre les deux on distingue sans difficulté une bande mince de trachées initiales grêles. Les éléments libériens compris entre S'_d et la périphérie du liber s'orientent déjà par rapport à cet arc ligneux pour l'accompagner dans sa sortie Il en est de même de l'îlot glandulaire qui comprend un plus grand nombre de cellules sécrétantes. Cet arc fait bomber vers l'extérieur la surface de la gaîne protectrice.

Au niveau 5 (fig. 45 pl. VII), la lame trachéenne P_{1g} s'est amincie, son renflement terminal a disparu, sa longueur diminue rapidement. Elle est toujours inclinée vers la droite. La pointe trachéenne P_{1d} et ce qui reste de P'_{δ_g} se sont beaucoup rapprochées tout en conservant chacune leur inclinaison propre. L'ensemble de cette région s'avance dans le liber pour constituer un pointement double. La pointe gauche P_{1d} de cet amas est très forte, plus saillante que son pointement droit, elle est inclinée vers la gauche, d'où un promontoire dont le côté gauche est souvent concave. La masse sortante S_1 s'est allongée radialement. Elle est toujours uniquement formée de vaisseaux rayés assez grands, plus nombreux. Le grand axe de l'ellipse est radial, il tient à la couronne vasculaire par son extrémité interne. Tous les éléments de cette trace sont équivalents ou bien les périphériques sont un peu, mais très peu plus grands, que les autres. Ils tendent à s'orienter par rapport au centre de figure de la masse. La partie gauche du pôle P_1 est donc à ce niveau réduite à l'état d'un pointement en lame mince qui se raccourcit et *s'écarte vers la gauche.* Sa partie droite P_{1d} est entrée dans un pointement double. La trace foliaire S_1 qui procède du pôle P_1 tend à devenir de plus en plus indépendante.

La masse sortante gauche S'_g est elliptique, à grand axe tangentiel. Les vaisseaux rayés de son bord interne sont plus grands que ceux de son bord externe. Les trachées forment une bande tangentielle placée entre les deux, complètement entourée par les vaisseaux rayés. Tous les éléments sont orientés

par rapport aux trachées initiales. La trace foliaire S'_d a encore accusé la tendance de sa masse ligneuse à devenir concave vers l'extérieur. L'opposition entre le calibre des vaisseaux rayés internes et externes s'est encore accusée. Le liber compris entre la gaîne casparyenne et cet îlot ligneux est nettement orienté par rapport à cet îlot. Les laticifères forment un arc convexe vers l'extérieur nettement spécialisé pour accompagner la trace foliaire. Celle-ci détermine un bombement à la surface externe du liber.

Au niveau 6, fig. 46 et 46 bis. Pl. VII, fig. 59, Pl. IX, l'élargissement de la région polaire P_1 atteint son maximum. La pointe trachéenne gauche tend à se réduire à un petit crochet incliné à droite en se raccourcissant de plus en plus. Plus haut, cette petite saillie entrera comme coin droit dans la constitution d'un pointement double, c'est-à-dire qu'elle se comportera comme P'_{δ_g} Dans ce mouvement P_{1g} s'écartera encore un peu vers la gauche La pointe droite P_{1d} qui forme alors le coin gauche d'un pointement double se redresse radialement, elle s'atténue un peu, en même temps que sa saillie trachéenne P'_{δ_g} devient une bosse mousse. La portion droite du pôle P_1 a donc été en quelque sorte absorbée dans un système qui, après avoir pris le faciès d'un pointement double, prend la forme type d'un pôle simple et constitue la pointe de ce pôle simple. — La masse sortante gauche S'_g a le faciès qu'avait la masse S'_d au niveau 1. — La trace foliaire S'_d comprenant toute sa lame ligneuse, le massif libérien qui s'est spécialement orienté par rapport à son bois, et son arc d'éléments sécréteurs s'échappe dans la zone profonde de l'écorce interne. Cette sortie est revêtue d'une gaîne propre très caractérisée, à laquelle est elle reliée antérieurement et sur les côtés par de grandes fibres primitives. Quant à la trace S_1, c'est une masse ligneuse elliptique à grand axe radial exclusivement formée de vaisseaux rayés ou bien avec un groupe

d'éléments trachéens centraux un peu plus grêles. Ses éléments ligneux sont plus nombreux que précédemment. A ce niveau la pièce S_1 a donc pris le faciès qu'avait S'_g au niveau 1.

Au-dessus du niveau 6, la trace foliaire S_1 passe successivement par les états que nous avons vu prendre à la pièce S'_g entre le niveau 1 et le niveau 6, c'est-à-dire qu'elle se comporte comme pièce sortante gauche d'un pôle simple placé à sa droite. Or nous avons assisté à la formation de ce pôle simple, c'est celui qui résulte du rapprochement des pointements P_{1d} et $P'_{\delta g}$, du soulèvement de la masse correspondante en un pointement double, et de l'atténuation de la masse $P'_{\delta g}$. Pendant que S_1 traverse les états de la sortie S'_g. le pôle $P_{1d} + P'_{\delta g}$ ou $P'_d + {}^{XIX}$ (1) prend successivement les formes que nous avons vu le pôle P_1 revêtir entre les niveaux 1 et 6, c'est-à-dire qu'il s'élargit, émet une pièce sortante $S'_d + {}^{XIX}$ et fournit à droite et à gauche une pointe trachéenne, celle de gauche équivalente à P_{1g}, celle de droite équivalente à P_{1d}. La sortie S'_g de son côté passe dans la même région par tous les états que nous avons reconnus pour la pièce S'_d du niveau 1, au niveau 6. Pendant que la trace foliaire S'_g s'approche ainsi de plus en plus de la périphérie du liber et sort dans l'écorce interne; presque radialement au-dessous d'elle, le pointement P_{1g} se rapproche d'un pointement $P_d^{(19-1)+XIX}$ incliné à gauche et devient pointe droite d'un pointement double ($P_d^{(19-1)+XIX} + P_{1g}$). Ce pointement double ($P_d^{(19-1)+XIX} + P_{1g}$) ne tarde pas à se transformer en pôle simple $P'_g + {}^{XIX}$ en atténuant son coin droit. Alors la pièce S_1 a le faciès qu'avait la sortie S'_d au niveau 1. Elle est sortie droite d'un pôle simple $P'_g + {}^{XIX}$ situé à sa gauche. Pendant que S_1 traversera les six

(1) Toutes les fois qu'un pôle simple vient ainsi se reformer à la place d'un pôle précédemment existant j'augmente son indice de 19 ou son exposant de XIX, si 19 est le nombre des séries polaires de l'échantillon. Exemples P'_d sera remplacé par $P' + {}^{XIX}$ et P_1 sera remplacé par P_{1+19}

phases que j'ai décrites pour la sortie S'_d nous verrons s'édifier au-dessous d'elle aux dépens de la partie droite du pôle $P'_g{}^{+\,XIX}$, et aux dépens de la gauche du pôle $P'_d{}^{+\,XIX}$, un pointement double puis un pointement simple par atténuation de sa partie droite. Le pôle P_1 est donc reconstitué à très peu près sur la même orthostique sous le nom de $P_{1\,+\,19}$. Pendant la traversée de ces douze niveaux ; et plus particulièrement pendant la traversée des six derniers, la région correspondante au pôle P_1 a été se rétrécissant de plus en plus. Au niveau 12 correspond le maximum de largeur du pôle $P'_d{}^{+\,XIX}$. Au niveau 18 correspond le maximum de largeur du pôle $P'_g{}^{+\,XIX}$ et le minimum du pôle $P_{1\,+19}$.

Nous avons donc dans les six niveaux que j'ai décrits tous les éléments nécessaires pour faire connaître les variations du pôle P_1 dans toute son étendue jusqu'à la reconstitution d'un pôle semblable au premier et placé presque sur la même orthostique, sinon même rigoureusement superposé au premier (1), et aussi pour connaître la trace foliaire depuis son origine jusqu'à la sortie de la couronne libérienne. Les sections successives de la pièce sortante dans la traversée du liber se succèdent dans l'ordre suivant, si nous les lisons en montant de l'origine vers la sortie : 1° les six sections S_1 ; 2° les six sections S'_g ; 3° les six sections S'_d. De même les sections successives du pôle doivent se lire en marchant dans le même sens : 1° les six sections de P_1 ; 2° pour P_{1d} ; les six sections de la partie gauche du pôle P_1 prises dans un pôle $P'_d{}^{+\,XIX}$, et pour P_{1g} les six sections de $P'_{\delta g}$; 3° pour P_{1d} les six sections de $P'_{\delta g}$ et pour P_{1g} les six sections de la partie droite du pôle P_1 prises dans un pôle $P'_g{}^{+\,XIX}$. La suite des figures 39 à 58 donne d'après nature les dix-huit sections principales de la région polaire et de la trace foliaire jusqu'à la sortie du liber.

(1) Il se peut qu'il y ait une légère torsion vers la droite.

En résumé, *les masses trachéennes dessinent des mailles dont les côtés n'ont que pendant une très faible étendue la valeur de pôles simples. Ailleurs ce sont des branches de pôles ou des anastomoses de deux branches. La pièce sortante naît dans le pôle dans sa région basilaire et un peu à sa droite.* En même temps qu'il donne la pièce sortante, le pôle se divise, sa branche droite s'unit immédiatement à une branche d'un pôle voisin pour donner le coin gauche d'un pointement double, celle de gauche passe à l'état de pointement en lame mince, et se réduit, après quoi elle devient coin droit d'un pointement double. Des branches, issues des deux pôles qui marquent les angles latéraux de la maille, se réunissent pour rétablir un pôle simple presque au-dessus du pôle primitif. Au point d'union des deux branches, la région polaire est représentée par un pointement double.

Pendant que les trachées et les vaisseaux rayés grêles dessinent cette maille à la surface de la couronne vasculaire, la trace foliaire traverse le liber. Ce n'est d'abord qu'un groupe de vaisseaux rayés formant saillie dans l'îlot d'amylome du pôle simple, puis c'est un cordon ligneux elliptique à grand axe radial et sans trachées initiales. Ce cordon devient libre dans le liber quand le pôle initial est disloqué en deux parties, une partie droite qui figure un pointement en lame mince, et une partie gauche qui forme le coin gauche d'un pointement simple. La pièce sortante prend un peu plus haut des trachées initiales centrales en même temps que son contour s'arrondit et que le nombre de ses éléments augmente. Puis la sortie devient elliptique, le grand axe de l'ellipse étant cette fois tangentiel. Les trachées se sont rapprochées du bord externe de la masse. Elles tendent à s'étaler en une lame parallèle au bord externe, mais en demeurant toujours complètement entourées par les vaisseaux rayés. Les vaisseaux rayés externes, tout en étant primaires comme ceux du bord interne, deviennent

plus grêles que ceux-ci. Tous ces caractères s'accusent fortement à mesure qu'on s'élève. Dans cette montée, la trace foliaire s'écarte de plus en plus, mais lentement, de la couronne vasculaire. C'est vers ce niveau qu'on voit les laticifères se localiser à la périphérie de la couronne libérienne près de la surface de symétrie de la pièce sortante. Cette pièce a alors acquis l'aspect que j'ai désigné sous le nom de sortie droite d'un pôle simple. Plus haut, la masse ligneuse de la sortie se courbe en une lame concave vers l'extérieur. Les trachées initiales y forment une mince bande entre les vaisseaux rayés internes et externes. Les éléments libériens compris entre ce groupe ligneux et la gaîne protectrice s'orientent par rapport à ce groupe ligneux. Les plus externes sont mêlés de nombreux laticifères, d'où un arc sécréteur divisé en deux moitiés symétriques par la surface de symétrie. Il n'y a pas de fibres libériennes. Peu à peu ces caractères s'accentuent, la pièce sortante fait saillie à la surface de la couronne libérienne, et s'échappe dans l'écorce interne revêtue d'une gaîne protectrice à laquelle sa partie ligneuse se rattache antérieurement et latéralement par de grosses fibres primitives. Pendant que la pièce sortante présentait ces modifications, au-dessous d'elle (1), s'établissait un pointement double qui, peu à peu, se transformait en un pôle simple.

L'étude directe des coupes dont j'ai pu disposer donne les résultats suivants :

A. — *Premier échantillon.*

Section inférieure et section moyenne réunies

Ces deux sections montrent :

19 séries polaires. 12 de ces séries sont *complètes*, 7 paraissent *incomplètes* parce que leur dernier terme à droite ou pointement

(1) C'est-à-dire entre la pièce sortante et la couronne vasculaire.

double est devenu premier terme gauche de la série suivante, et y figure un pointement simple. Deux de ces séries réduites présentent en plus une réduction de leur premier terme.

49 groupes saillants d'éléments ligneux étroits portant ensemble *57 pointements trachéens* qui se répartissent comme il suit :

19 pôles simples dont 10 avec le faciès type, sans fibres primitives, 4 qui, tout en ayant le faciès type, présentent un peu d'amylome, 3 qui ont encore le faciès type mais qui sont ouverts sur la droite et montrent déjà les pièces sortantes qui s'y insèrent. De ces 17 premiers pointements, 7 jouent simultanément le rôle de pointement double et de pôle simple. Les deux derniers pôles sont exceptionnellement raccourcis (1)

19 pointements en lame mince, dont 12 avec le faciès type et 7 avec la forme de pointements triangulaires. Ils pourraient être confondus par un observateur inexpérimenté avec des pôles simples, mais, comme le prouvent leurs rapports, ce ne sont que des pointements en lame mince à divers degrés de raccourcissement.

11 pointements doubles, dont 8 avec le faciès type, et 3 presque à l'état de pointements simples par réduction de leur pointe trachéenne droite.

Le liber contenait *56 à 57 pièces sortantes* réparties comme il suit :

17 ou 18 sorties analogues à S'_g, c'est-à-dire à la trace foliaire qui est placée à gauche d'un pôle simple type.

19 ou 18 sorties analogues à S'_d c'est-à-dire à la trace foliaire qui est placée à droite d'un pôle simple type.

13 sorties telles que celles qu'on trouve à la droite d'un pointement en lame mince S'_δ. 10 de ces sorties adhèrent encore à la couronne vasculaire.

(1) Serait-ce l'indication d'atrophies locales, je ne puis l'affirmer.

7 ou 8 sorties superposées à des pointements doubles telles que $S^{1\cdot 2}$.

Il y a lieu de signaler 6 ou 5 pièces sortantes qui, ayant déjà quitté le liber pour pénétrer dans l'écorce interne, ne peuvent être comprises dans cette liste. Elles sont très voisines du liber et parfois elles y tiennent encore. Mentionnons aussi les traces de trois sorties visibles dans des pointements qui sont encore à l'état de pôles simples non ouverts.

B. — *Premier échantillon.*

Section supérieure.

La section supérieure du premier échantillon montre :

19 séries polaires dont *12 complètes* et *7 incomplètes*. Sur ces 7 dernières, 3 ont leur dernier terme ramené à l'état de pôle simple et jouent nettement ce rôle dans la série suivante. Pour les 4 autres, elles semblent manquer de premier terme. Cela tient à ce que le dernier terme de la série qui les précède à droite a conservé son aspect de pointement double, tout en jouant déjà le rôle de pôle simple dans la nouvelle série C'est donc au fond 7 séries incomplètes pour le même motif.

50 groupes saillants d'éléments ligneux plus étroits portant ensemble *62 pointements trachéens* qui se répartissent comme il suit :

15 pôles simples, dont 9 avec le faciès type et 6 qui, tout en ayant le faciès type, montrent un îlot de fibres primitives.

19 pointements en lame mince, dont 15 avec le faciès type et 3 sous forme de pointements triangulaires à divers états de raccourcissement. Un dernier est remarquable par sa briéveté.

16 pointements doubles, dont 12 avec le faciès type et 4 à l'état de pôle simple.

Le liber contenait *62 pièces sortantes* réparties comme il suit :

15 sorties analogues à S'^{g}.

19 sorties analogues à S'_d.

16 sorties analogues à la sortie droite d'un pointement en lame mince, S'_δ.

12 sorties sur pointements doubles telles que $S^{1\text{-}2}$.

Il convient de signaler 4 sorties qui ont déjà pénétré dans l'écorce interne mais qui tiennent encore au liber.

En comparant la préparation supérieure et la préparation moyenne, il semble au premier abord que l'on constate des variations numériques assez étendues. 62 pointements trachéens au lieu de 57, 62 sorties au lieu de 57, mais en réalité il n'en est rien. Nous trouvons de part et d'autre le même nombre de séries tant complètes qu'incomplètes. Une même cause provoque le même état incomplet pour toutes les séries. Dans toutes, en effet, le dernier terme de la série précédente est appelé à jouer le rôle de pôle simple, dès lors la nouvelle série semble manquer de premier terme. Mais selon que le pointement commun aux deux séries prend le faciès de pôle simple ou qu'il conserve celui de pointement double (1), on a soit 1 seul, soit 2 pointements trachéens. Or, tandis que sur la préparation moyenne nous comptons 11 pointements doubles dont 8 à deux pointes et 3 simples, plus 19 pointements simples; sur la préparation supérieure nous avons 16 pointements doubles, dont 12 doubles, 4 simples et 15 pointements simples. La différence de nombre pour les pointements est donc bien due à la cause que je signalais. Comme naturellement au-dessus de chacun des pointements doubles conservés dans la préparation supérieure nous trouvons une sortie qui fait au contraire défaut sur la préparation moyenne parce qu'elle a déjà quitté le liber, nous trouvons 62 sorties dont 12 sur des pointements doubles au lieu de 57 sorties dont 8 sur des points doubles.

(1) Cette différence répond à deux niveaux immédiatement consécutifs d'une même région polaire.

C. — *Échantillon de M. Hovelacque.*

Le remarquable échantillon de M. Hovelacque montre :

19 séries polaires dont 11 complètes et 8 incomplètes. Sur ces 8 dernières, 6 ont leur dernier terme avancé à l'état de pôle simple et jouent ce rôle dans la série suivante. Inversement pour les deux autres, cet état d'avancement n'étant pas poussé aussi loin, ils figurent des pôles doubles, et la série à laquelle ils appartiennent semble manquer de pôle simple. — Contrairement au premier échantillon, les séries progressent ici de droite à gauche au lieu d'être dextres. Nous avons vu précédemment que cette différence n'est pas due simplement à un retournement de la section sur le slide.

49 groupes saillants d'éléments ligneux étroits qui portent ensemble *68 pointements trachéens;* ceux-ci se répartissent comme il suit :

> *17 pôles simples* dont 6 avec le faciès type; un avec le faciès type, mais contenant un îlot de fibres primitives; les éléments de la pièce sortante qu'il va fournir n'y formant pas encore une bosse accusée. Deux autres ont le faciès type et contiennent aussi des fibres primitives; à la base de cet îlot, un groupe ligneux indique la pièce sortante. Six pôles sont ouverts et se montrent sous l'aspect de deux pointes, celle de *gauche* (1) étant relativement très grande. La pièce sortante qui s'insère dans ces pôles est déjà fortement saillante, *on peut même y voir des trachées.* Ces six pôles plus avancés sont presque diamétralement opposés aux six pôles simples types. En effet, tandis que les six pôles avancés sont à gauche et en arrière, les pôles types sont à droite et un peu en avant. — Deux pôles simples qui ont le faciès type sont moins échancrés que les six dont il vient d'être

(1) Cette pièce de gauche serait à droite dans le premier échantillon.

question. Ils sont ouverts eux aussi ; leur ouverture s'est faite latéralement, leur petite pointe gauche étant très courte. Ils montrent tous deux l'indication d'une sortie saillante.

19 *pointements en lame mince*, dont 13 avec le faciès type et six avec la forme de pointements triangulaires rappelant un peu les pôles simples (1).

13 pointements doubles qui ont tous le faciès typique. 4 cependant cantonnés dans la partie droite de la préparation tendent à prendre le faciès de pôle simple par réduction de leur pointement droit. 3 montrent l'insertion d'une pièce sortante, un d'entre eux *contient un îlot de fibres primitives, les deux autres sont déjà ouverts, et la pièce sortante qui s'y insère forme une masse saillante entre les deux pointes trachéennes du pôle.*

Le liber contient 67 à 69 traces foliaires réparties comme il suit :

16 sorties analogues à S'_g.

19 sorties analogues à S'_d.

14 sorties droites de pointements en lame mince.

10 sorties sur des pointements doubles.

Il convient de signaler 6 à 8 sorties engagées dans des pôles simples et les indications de deux sorties déjà saillantes dans des pointements doubles. 3 pièces sortantes déjà engagées dans l'écorce interne tiennent encore au liber.

Il y a lieu de remarquer dans cette préparation de M. Hovelacque le grand nombre des pointements trachéens qui atteint ici 68. Cela tient *à ce que l'insertion de la pièce sortante se reconnaît beaucoup plus bas que dans le premier échantillon* (2). Nous voyons en effet la trace foliaire déjà indiquée dans le pointement trachéen lorsque celui-ci joue encore le rôle de

(1) Ce faciès tient à une particularité individuelle de cet échantillon, ses pointements *gauches* de pôles doubles, et ses pointements en lame mince étant remarquablement volumineux.

(2) Je ne serais nullement surpris qu'il en fût de même dans le *Lomatofloyos crassicaule* de Corda (échantillon de 1843).

pointement double, soit par un îlot de fibres primitives, soit par cet îlot et un groupe ligneux qui y fait saillie, soit même enfin par une sorte d'incision radiale du pointement et une très forte saillie de la pièce sortante, le volume de la branche gauche du pointement étant alors très remarquable. Il en est à plus forte raison de même dans les pôles simples ; 6 d'entre eux sont ainsi ouverts et représentés par deux pointes trachéennes. Tous les pointements doubles sont enfin représentés par deux pointes trachéennes.

Les trachées descendent très bas dans les traces foliaires de cet échantillon de M. Hovelacque ; ainsi, on les retrouve dans quelques pièces sortantes encore adhérentes à la couronne vasculaire. Le nombre des trachées y est plus faible que dans le premier échantillon, leur étalement tangentiel est moins accusé. Les fibres primitives apparaissent très bas dans les régions polaires, puisqu'on en voit dans certains pointements doubles. Les pointements en lame mince sont très saillants, à large base. Ils conservent même un assez grand volume quand ils jouent le rôle de pointement gauche dans un pôle double où l'insertion de la trace foliaire est déjà bien indiquée.

Les variantes observées, soit entre les deux parties d'un même spécimen, soit entre les deux échantillons, sont remarquablement faibles. Le nombre des séries est le même 19. Nous trouvons également à peu près les mêmes nombres de séries complètes et incomplètes. Seul le nombre des pointements polaires varie, mais c'est une même cause qui détermine cette variation. Certaines séries empiètent plus ou moins rapidement sur celles qui les précèdent ou, ce qui revient au même, l'indication des pièces sortantes descend plus ou moins bas. A coup sûr l'inégale répartition des appendices dans l'écorce moyenne et dans l'écorce interne, ainsi que l'espèce d'hétérodromie montrée par l'échantillon de M. Hovelacque, semblaient devoir nous présager des variantes bien autrement importantes.

D'après la fig. 10 Partie XI des mémoires de M. Williamson, qui est la meilleure figure que nous ayons jusqu'ici d'une masse libéro-ligneuse de stipe de *Lepidodendron (Hartcourtii ou fuliginosum)*, l'échantillon représenté compte *59* à *62* pointements trachéens. Toutes les pièces sortantes telles que S'_g, S'_d et les sorties droites des pointements en lame mince *y sont en place*, malgré cela le dessin ne me permet pas d'établir avec certitude le nombre des séries, mais il diffère certainement extrêmement peu des résultats précédents. Or, d'après mon savant collègue de Manchester (1), il s'agirait d'un *Lepidodendron fuliginosum*. Cette faible variation des échantillons est à coup sûr un caractère extrêmement remarquable, et fait prévoir que la succession reconnue dans les régions polaires a une généralité plus grande que celle qu'on serait tenté de lui accorder d'après le petit nombre des échantillons étudiés.

6. — *La trace foliaire dans l'écorce interne.*

Fig. 73, 74 et 75, Pl. VIII.

La méthode que j'ai suivie pour déterminer la structure de la pièce sortante aux différents niveaux de sa course à travers le liber peut être appliquée identiquement à la détermination de la structure de cette pièce dans la traversée de l'écorce interne et de l'écorce moyenne (2). Je ne crois pas utile d'entrer à nouveau dans le détail de son application, et je passe immédiatement à l'exposé des résultats obtenus.

La structure de la pièce sortante *varie très peu dans la traversée de l'écorce interne*. Sa courbure est assez faible, toutes les traces foliaires sont en effet coupées presque transversalement dans cette région, aussi bien celles qui ont été maintenues en place comme dans l'échantillon de M. Hovelacque, que celles qui ont été déplacées comme dans le premier spéci-

(1) Note de 1887.

(2) Il y aura lieu de tenir grand compte des déplacements très importants parfois qui se sont produits dans l'écorce interne.

men. Nous avons vu que les sections de ces sorties, lorsqu'elles n'ont pas été trop fortement déplacées, forment des alignements ou spires presque régulières. De ces spires les unes dextres (1), très surbaissées, sont difficiles à suivre, les autres, au contraire, sénestres, sont beaucoup moins surbaissées, ces dernières se continuent nettement avec les spires sénestres de l'écorce moyenne (fig. 3. Pl. I).

Dans la partie de l'écorce interne immédiatement voisine du liber, la trace foliaire comprend une masse ligneuse élargie tangentiellement, largement convexe à sa partie antérieure, légèrement concave à sa partie postérieure. Ce bois est exclusivement primaire. Les trachées y forment une lame tangentielle mince, rapprochée de la face postérieure. Antérieurement cette lame est revêtue de deux à trois rangs de vaisseaux rayés plus grands que ceux qui tapissent sa face postérieure. Les vaisseaux rayés se réunissent sur les côtés de manière à entourer complètement les trachées. Celles-ci sont étirées tangentiellement et par suite très amincies radialement, tandis que les vaisseaux sont orientés radialement par rapport à la lame trachéenne. Le bois est tapissé antérieurement par une ou deux rangées de grosses fibres primitives à parois minces, lisses, qui l'unissent à une gaîne protectrice très caractérisée. Cette gaîne entoure complètement la pièce sortante, y compris son arc sécréteur. La face externe du bois est tapissée par un liber primaire à éléments grêles inégaux orientés du bois vers le massif sécréteur et par suite avec une très forte tendance à montrer une disposition radiale (2). Tous ces éléments ont des parois très minces, lisses ; du moins je n'ai pu jusqu'ici voir leurs ponctuations grillagées. Extérieurement, ce liber

(1) D'après l'échantillon de M. Hovelacque.

(2) Cette disposition radiale du liber et des vaisseaux rayés extérieurs *peut donner l'illusion du début ou d'une amorce de productions libéro-ligneuses secondaires unies par une zone cambiale,* il n'en est rien.

conducteur se continue avec le tissu glandulaire qui forme un groupe considérable à la partie postérieure de la trace foliaire et qui se distingue à l'œil nu et à la loupe comme un second point noir placé dans cette région. Ce tissu sécréteur consiste en un mélange de tubes laticifères (gommeux ou tannifères) et de cellules courtes à parois minces parfois aussi larges que les éléments sécréteurs. Ces dernières sont des sortes de fibres primitives recloisonnées transversalement, dilatées, qui paraissent vides. Les tubes laticifères sont des cellules de calibre variable, généralement plus larges que les éléments voisins, allongées dans le sens de la trace foliaire et cloisonnées transversalement. Ces cellules sont gorgées d'un contenu brun concrété qui ne me paraît avoir aucun rapport avec la paroi gonflée d'une fibre libérienne. Ces éléments ressemblent beaucoup aux tubes que nous avons, M. Renault et moi, appelés tubes gommeux dans le liber secondaire des Poroxylons. Même quand ils sont vides, la coloration de la paroi des laticifères permet de les reconnaître. Ils tiennent bien au reste du liber et n'en sont pas séparés comme il arrive parfois à des fibres libériennes qui ont été macérées. Le tout est revêtu d'une gaîne protectrice fréquemment décollée du tissu cortical voisin dans sa partie postérieure.

Pendant la traversée de l'écorce interne, le groupe ligneux de la pièce sortante conserve la même forme en s'élargissant et en s'épaississant un peu. L'arc glandulaire s'élargit et surtout il s'épaissit beaucoup. C'est toujours le même mélange de cellules sécrétantes et de cellules lisses à parois non modifiées. Une lacune existe presque toujours au dos de la pièce sortante. N'est-ce là qu'un accident? Est-ce au contraire un caractère spécifique. Cette déchirure manque dans la plupart des bons échantillons de *Lepidodendron fuliginosum*. Les modifications de la pièce sortante dans la traversée de l'écorce interne sont donc, comme je le disais en commençant, extrêmement faibles. Cette pièce augmente surtout de volume.

7 — *La trace foliaire dans l'écorce moyenne.*

Fig. 77, 78, 79, 80. Pl. VIII.

Dans la traversée de l'écorce moyenne, la section horizontale de la trace foliaire change rapidement de forme et semble s'épaissir beaucoup dans le sens radial. Cela tient en grande partie à ce que la trace foliaire se courbe rapidement vers l'extérieur. Elle marche presque horizontalement en traversant la zone subéreuse. Les sections horizontales (1) deviennent ainsi des sections de plus en plus obliques et s'étirent radialement. La section horizontale de la pièce sortante, qui est presque elliptique, à grand axe tangentiel dans la zone profonde de l'écorce moyenne, devient vers la périphérie une mince lame radiale très allongée. Je vais examiner la structure de la pièce sortante en trois points de l'écorce moyenne.

Dans la partie profonde de l'écorce moyenne, la trace foliaire est elliptique, son grand axe est tangentiel. Elle est accompagnée d'une grande lacune postérieure de forme arrondie, mais qui devient rapidement triangulaire dès que la sortie se rapproche un peu de l'extérieur. Dans les échantillons que j'ai étudiés cette lacune est très constante et elle paraît vide. Ce n'est peut-être qu'une déchirure accidentelle plus fréquente chez le *Lepidodendron Hartcourtii* que chez les autres espèces. Je n'ai pas vu l'écorce interne y accompagner la trace foliaire, ce qui semblerait devoir être cependant, car telle est l'origine du parichnos chez le *L. fuliginosum* et le *L. selaginoïdes*. Quant à la sortie elle-même, elle est un peu plus volumineuse que dans l'écorce interne. Son bois a conservé la même disposition savoir : une lame trachéenne tangentielle entourée de vaisseaux rayés dont les antérieurs sont plus volumineux, les externes plus grêles, ces derniers différant peu, comme calibre, des trachées. Tous ces vaisseaux et trachées *se touchent encore sans interposition de fibres primitives*. Ils

(1) En réalité transversales par rapport au rameau.

sont exclusivement primaires malgré l'agencement radial qu'affectent les petits vaisseaux rayés extérieurs. Les éléments libériens conducteurs sont aussi plus nombreux que dans l'écorce interne, ils sont encore grêles, inégaux, et disposés en séries radiales très accusées. Malgré cette disposition il n'y a pas de zone cambiale entre le bois et le liber. Les éléments libériens contigus au bois sont les plus grêles. Le liber forme un îlot limité vers l'extérieur par le tissu glandulaire. L'importance de celui-ci s'est accrue, et comme nombre d'éléments, et comme épaisseur totale. Il forme un arc où les éléments sécréteurs plus nombreux tantôt se touchent et tantôt sont isolés les uns des autres par des cellules à parois minces, lisses, sans contenu et évidemment non glandulaires et non fibrifiées. Le bois et le liber sont reliés latéralement et antérieurement à la gaîne protectrice par une couche de un ou trois rangs de fibres primitives courtes. Le tissu glandulaire tient au contraire directement à la gaîne. La gaîne casparyenne tient à l'écorce moyenne dans toute sa partie antérieure et sur les côtés. Elle est à nu au contact de la lacune postérieure. Les éléments de la gaîne sont de grandes cellules à parois minces orientées perpendiculairement à la surface qu'elles limitent. Les cloisons normales montrent des cadres d'épaississement ou les plissements ordinaires de cette zone. Les parois des cellules de la gaîne ont dû subir au moins un commencement de subérisation, car leur aspect rappelle absolument celui des cellules subéreuses conservées dans les mêmes conditions. Les cellules de la gaîne sont un peu allongées dans le sens de la trace foliaire.

Au milieu de l'écorce moyenne, la section horizontale de la trace foliaire est une ellipse à grand axe *radial*, accompagnée extérieurement d'une grande lacune très allongée dans le sens radial. Le bois conserve la même organisation que précédemment. Même en ce point, je ne puis reconnaître la localisation des trachées en deux groupes focaux. Elles me paraissent toujours

former une bande tangentielle continue. Les éléments trachéens et les vaisseaux rayés externes sont difficiles à distinguer les uns des autres à cause de l'obliquité de leurs sections. Je ne vois pas encore de fibres primitives mêlées aux éléments ligneux. La disposition radiale que je signalais dans le liber est encore plus accusée que précédemment; toutefois, en ce point, ce dispositif me paraît n'être qu'une conséquence de l'étirement radial qu'éprouve la pièce sortante, étirement qui s'accentuera encore dans la région extérieure. L'arc glandulaire de la trace foliaire est très fortement épaissi, la lacune postérieure est encore vide ou montre seulement quelques éléments parichniques dans sa partie postérieure.

Vers l'extérieur de l'écorce moyenne, la trace foliaire se rétrécit tangentiellement. La face postérieure du bois devient fortement concave, sa face antérieure devient au contraire fortement convexe comme si toute la masse se pliait de part et d'autre de la ligne de symétrie. Il n'y a pas encore de fibres primitives entre les éléments ligneux mais le calibre de ceux-ci est plus uniforme, les vaisseaux rayés externes étant un peu plus gros, les vaisseaux antérieurs étant au contraire sensiblement plus grêles. Les trachées sont plus grosses. Leur place n'est pas changée, elles forment toujours une bande tangentielle et non deux groupes focaux ou marginaux comme on avait cru le remarquer sur des sections obliques presque tangentielles de la trace foliaire. Le liber est plus homogène, il paraît déprimé en son milieu. On dirait qu'il tend à participer à la courbure du bois. Le tissu glandulaire très épaissi tend à former un amas distinct. La gaîne protectrice très visible à la partie antérieure de la trace foliaire et sur ses flancs se suit très difficilement à la surface du tissu glandulaire. Derrière la sortie est un vaste espace comblé par le parichnos (1).

(1) Le spécimen de M. Hovelacque se distingue du premier échantillon par un moindre étirement des pièces sortantes dans le sens radial. La courbure de ces pièces y était donc moins rapide et leur épaississement moins fort. Le bois et le liber sont moins abondants dans la trace foliaire. Le bois même a ses vaisseaux rayés antérieurs et postérieurs moins dissemblables ; l'arc sécréteur est, par contre, beaucoup plus important, plus large et plus épais.

CONCLUSIONS

SOMMAIRE

1. — Nature du tissu central du stipe.
2. — Ce tissu central est le siège de recloisonnements tardifs.
3. — La couronne vasculaire une fois différenciée n'acquérait pas de nouveaux vaisseaux par sa face interne. Elle ne provient pas de la transformation d'une masse vasculaire pleine en une couronne vasculaire annulaire. Valeur taxonomique de cet état plein ou annulaire du bois primaire.
4. — Autres caractères tirés du bois primaire.
5. — Les pointements polaires et les séries qu'ils forment.
6. — Différenciation de la masse ligneuse en parties sortantes et couronne vasculaire réparatrice.
7. — Comparaison des rapports des traces foliaires avec la masse libéro-ligneuse de l'axe chez le *Lepidodendron Hartcourtii* et chez quelques autres plantes houillères.
8. — Absence de productions libéro-ligneuses secondaires dans le stipe du *Lepidodendron Hartcourtii.* Signification de ce caractère, sa valeur taxonomique.
9. — Disposition rayonnée du liber du stipe.
10. — La très faible épaisseur de ce liber et son homogénéité.
11. — Le liber dans la trace foliaire.
12. — La trace foliaire.
13. — L'appareil laticifère.
14. — Les glandes et les sequestres corticaux.
15. — Valeur de la masse libéro-ligneuse de l'axe et nature de cet axe.
16. — Caractères cryptogamiques du *Lepidodendron Hartcourtii.*— Y trouve-t-on quelques caractères phanérogamiques ?.

L'analyse des échantillons que j'ai décrits ci-dessus me paraît conduire aux conclusions suivantes, qui seront le résumé de cette étude.

1. — Le tissu qui occupe le centre de la couronne vasculaire n'est pas une dépendance du tissu fondamental. Il n'est pas équivalent à la moelle des tiges des Phanérogames, *Ginko, Vanilla* ou *Thalictrum,* non plus qu'à celle de stipes comme *Struthiopteris germanica, Davallia Novæ-Zelandæ* ou *Dennstædtia* (1). Pour moi il fait partie de la masse libéro-ligneuse au même titre que le bois et le liber primaires. Il est de même nature que les fibres primitives centrales des racines à faisceaux larges, dont les lames ligneuses sont incomplètement convergentes. Ce sont des fibres primitives larges, recloisonnées horizontalement, d'où leur agencement en files verticales. Elles jouaient le rôle de tissu comblant, peut-être même ont-elles pu jouer celui de réservoir. Par là seulement elles rappellent le tissu fondamental. Je vois une preuve à l'appui de cette manière de voir dans le contact direct, sans interposition d'un tissu de raccord ou d'une gaîne casparyenne, du tissu central avec la couronne vasculaire si différenciée de la plante. Un tel contact n'est possible que pour des éléments ligneux différenciés aux dépens d'une masse procambiale dont une partie passe à l'état de tissu définitif sans prendre les

(1) En exposant la structure du stipe des Fougères dans la seconde édition de son *Traité de Botanique,* M. Van Tieghem, considérant comme acquis les résultats de ses recherches sur la *Polystélie,* regarde les masses libéro-ligneuses de ces stipes comme homologues de la couronne libéro-ligneuse d'une tige moyenne et de son contenu médullaire. Dans cette manière de voir la comparaison ci-dessus n'aurait pas de sens. L'analyse anatomique que j'ai faite de ces stipes ne me permet pas d'accepter l'interprétation proposée par M. Van Tieghem. Je persiste donc à regarder leurs masses libéro-ligneuses, aussi bien les masses sortantes que les masses réparatrices, comme des anastomoses ou des lobes de faisceaux bi-polaires, c'est-à-dire comme quelque chose d'un peu plus élevé organiquement ou d'un peu supérieur à un faisceau simple, mais tout en restant encore masse libéro-ligneuse unique nullement équivalente par conséquent au système total des faisceaux d'une tige. Je vois entre les deux la même différence qu'entre une anastomose de faisceaux foliaires d'une tige de monocotyledonée et la masse libéro-ligneuse complète d'une tige d'Hippuris ou de Potamogeton.

caractères de bois ou de liber (1). Aussi que dans un stipe comme celui-ci, la couronne vasculaire vienne à atteindre 23 rangées d'épaisseur au lieu de 5 ou 6, nous verrons les fibres primitives conserver avec les vaisseaux ligneux les mêmes rapports que chez le *Lepidodendron Hartcourtii* (2). *Les éléments périphériques de la masse centrale ont alors participé à la formation de la couronne vasculaire dans le temps de la différenciation du bois primaire.* Par la même cause, nous aurons une masse ligneuse complètement pleine, si la différenciation ligneuse s'étend sur tous les éléments centraux comme dans le *Lepidodendron rhodumnense.* Que nous ayons un commencement de dispersion dans la région profonde du bois primaire, nous trouverons les régions centrales si particulières des plantes lépidendroïdes que M. Williamson nomme *Lepidodendron selaginoïdes* et *Lepidodendron vasculare*, c'est-à-dire un mélange de fibres primitives grêles et d'éléments lignifiés à tous les états, depuis celui de trachéïde caractérisé, jusqu'à celui de cellule hypertrophiée et dont les parois sont simplement réticulées. Enfin nous pourrons même trouver des fibres primitives centrales ayant conservé leur faciès de tissu procambial comme dans quelques spécimens de *Lepidodendron fuliginosum.*

(1) Dérivant simultanément d'un même tissu générateur, nous voyons constamment l'élément ligneux et la fibre primitive se toucher directement. Le bois ne diffère de la fibre primitive que par sa différenciation plus accusée. Il n'en est pas de même du bois et du tissu fondamental qui dérivent de tissus générateurs différents. Il est alors bien rare, lorsqu'ils sont tous deux profondément caractérisés, comme ce serait le cas ici, qu'entre les deux nous n'ayons pas quelques éléments intercalés. Ce sont ordinairement des fibres primitives qui établissent ce raccord. Parfois aussi une gaîne casparyenne limite le tissu fondamental et sépare des tissus trop différents tout en conservant leur liaison organique.

(2) La plante diploxyloïde d'Arran (*Lepidodendron Wunschianum* Will.) compte ainsi 23 rangs de vaisseaux rayés sans interposition de fibres primitives. Le *Diploxylon cycadoïdeum* de Corda compte 29 rangs de vaisseaux dans l'épaisseur de sa couronne vasculaire.

2. — La masse des fibres primitives centrales ne pouvait qu'imparfaitement suivre la croissance intercalaire de la couronne vasculaire, croissance qui paraît avoir été extrêmement rapide. De là, comme nous le voyons quelquefois dans les racines adventives du *Cucurbita maxima*, des tractions entre la masse centrale et la couronne vasculaire. Ces tractions qui se produisaient de très bonne heure ne restaient pas localisées à la périphérie de la masse comme dans l'exemple emprunté aux plantes actuelles, elles s'étendaient dans toute la masse. Sous cette action, certains éléments s'hypertrophiaient puis se recloisonnaient. Les cloisonnements nouveaux étaient radiaux et tangentiels, plus nombreux et nettement orientés dans les parties périphériques. Je n'ai pas vu ces cloisonnements se localiser de manière à former une zone génératrice. A ma connaissance il n'en a pas été cité d'exemple, non plus que de productions libéro-ligneuses secondaires tardives comparables à celles du *Tecoma radicans*. Ces cloisonnements tardifs ne sont pas l'indication d'une croissance régulière de la région centrale, croissance qui lui eût permis de suivre l'élargissement du stipe, en transformant par exemple un axe ligneux plein en un axe creux, c'est-à-dire avec fibres primitives centrales; ou bien qui avait pour but d'épaissir la couronne vasculaire formée après la première différenciation. Ce sont simplement des recloisonnements ayant à un très haut degré le caractère de cloisonnements accidentels et tardifs (1) Ils permettaient au tissu interne tiraillé de suivre tant bien que mal l'agrandissement du bois auquel il est lié (2). Ce tissu s'établissait comme les tissus cicatriciels qui ferment une ablatation superficielle peu étendue. La blessure qu'il s'agissait de réparer était

(1) Le mot tardif a ici a un sens tout relatif puisqu'il s'agit d'êtres à végétation extrêmement rapide.

(2) Dans le *Lomatofloyos crassicaule* de Corda le tissu central du stipe est rompu en planchers horizontaux; son moulage, par suite, figure un *Artisia*.

très légère, un simple tiraillement ; mais si légère fût-elle, le caractère accidentel qu'elle imprime aux cloisonnements dont elle a provoqué l'apparition, suffit à expliquer pourquoi ils sont plus nombreux quand la croissance a été très active, et pourquoi ils sont, au contraire, rares ou totalement absents quand la croissance a été moins rapide.

3. — Comme je viens de le dire, la couronne vasculaire n'acquérait pas de nouveaux éléments ligneux par sa face interne une fois la différenciation primaire terminée. D'autre part, quel que fût l'état auquel cette différenciation l'abandonnât, la couronne ou la masse vasculaire y demeurait. C'est-à-dire qu'une masse vasculaire pleine, par exemple, ne se transformait pas en masse vasculaire annulaire par le développement de fibres primitives dans sa région centrale. Une même plante cependant pouvait avoir des rameaux grêles à axe vasculaire plein, d'autres rameaux plus gros à axe vasculaire légèrement évidé, d'autres rameaux très gros avec une couronne vasculaire dont le centre était occupé par une masse énorme de fibres primitives. Ce sont là des différences dépendant du calibre des rameaux (1) et non pas les stades successifs de l'accroissement d'une même branche. Cette remarque suffit certainement à faire abandonner dans la spécification des Lépidodendrons à structure conservée l'usage de ce caractère « Espèce à bois primaire annulaire, opposée à Espèce à bois primaire plein. » — Elle n'implique pas pourtant que certaines espèces n'aient eu précisément ce caractère d'avoir les unes leur axe vasculaire toujours annulaire, les autres leur axe vasculaire toujours plein. La plante lépidendroïde de Burntisland d'une part, et d'autre part le *Lepidodendron rhodumnense* de M. B. Renault semblent avoir eu, l'un et l'autre, ces caractères spécifiques, le premier avec un bois primaire annu-

(1) Et peut-être aussi de leur ordre (?).

laire, le second avec un bois primaire plein. Mais ce ne sera qu'après une détermination très sérieuse de la valeur de cette indication *pour chaque espèce en particulier*, qu'on pourra s'en servir et *seulement pour elle*. Maintenant il faut bien reconnaître que dans la spécification approchée dont la Paléontologie végétale devra encore se contenter en maintes circonstances, on s'en servira bien des fois, et avec raison, lorsqu'il s'agira, par exemple, de distinguer les uns des autres des rameaux grêles ou de calibres peu différents.

4. — Ayant ainsi fait toutes les réserves nécessaires au sujet de l'état plein ou annulaire du bois primaire du *Lepidodendron Hartcourtii*, je crois qu'il convient cependant de citer parmi les caractères spécifiques de cette plante quelques autres caractères de son bois primaire. Celui-ci est une couronne portant à sa surface de nombreux pointements trachéens très saillants (1). La partie profonde du bois est formée de grands vaisseaux rayés qui se touchent sans interposition de fibres primitives. Cette couronne est nettement limitée du côté du centre. Bien que cet aspect puisse être profondément modifié dans des rameaux grêles, si les figures 12, Partie IX et 1 à 6, Partie XVI de M. Williamson appartiennent bien à cette forme spécifique, (2) je crois utile et même indispensable de l'opposer à la couronne vasculaire mal limitée intérieurement du *Lepidodendron vasculare*, au bois primaire du *Lepidodendron*

(1) Bien que certainement très utile à indiquer, je ne puis pour le moment ranger la grandeur relative des pointements trachéens parmi les caractères ayant une certaine valeur taxonomique à cause de la variabilité que j'ai rencontrée sous ce rapport dans les échantillons de *Lepidodendron fuliginosum*.

(2) D'après une correction manuscrite que porte l'exemplaire de la nouvelle note de M. Williamson que j'ai reçu, les fig. 1 à 6. Partie XVI proviendraient du *Lepidodendron fuliginosum*. (Note ajoutée pendant l'impression).

selaginoïdes, et même, aux bois primaires hétérangioïdes (1).

5. — Les pointements de la masse libéro-ligneuse ne sont que les sections faites à diverses hauteurs dans les régions polaires. Convenablement lues, elles nous montrent sur une seule section les rapports des régions polaires entre elles et avec les pièces sortantes. Si l'on ne tient compte de leurs positions relatives, et par suite de leur signification, le nombre des pointements paraît varier dans des limites assez étendues le long d'un même rameau ou entre échantillons comparables. Si, au contraire, on tient compte de cette signification, on trouve le même nombre de séries polaires chez l'un et chez l'autre, 19 dans nos deux échantillons, dont 7 à 8 incomplètes, c'est à-dire dont le premier terme se confond avec le dernier terme de la série précédente. Le nombre des régions polaires est donc le même dans les deux échantillons (3). C'est là une concordance bien remarquable étant donnée la multiplicité des caractères individuels qui les différenciaient. Par conséquent, bien qu'au premier abord l'ensemble ne présente qu'une tendance générale vers une allure régulière, cette tendance est en fait beaucoup plus accusée que la répartition des appendices dans l'écorce moyenne et dans l'écorce interne ne semble l'indiquer.

(1) Bien que je ne connaisse pas d'exemple de plante lépidodendroïde à bois primaire d'*Heterangium* (2); comme à priori, étant donnée la dispersion du bois primaire du *Lepidodendron selaginoïdes*, on peut prévoir un tel état. Je crois devoir mentionner ce terme possible dans la série des états du bois primaire des plantes lépidodendroïdes.

(2) J'appelle bois primaire à forme d'*Heterangium* ou *hétérangioïde*, une masse ligneuse primaire paraissant avoir même centre de figure que l'axe, ses pôles trachéens périphériques, non saillants, et ses vaisseaux dispersés par groupes au milieu des fibres primitives, quelles que soient d'ailleurs les ornementations des vaisseaux et la valeur morphologique de la masse.

(3) On compte en effet 49 régions polaires pour l'un et 50 pour l'autre (4).

(4) Ce nombre varie probablement avec le calibre des rameaux. On pourrait peut être s'en rendre compte sur les échantillons qui ont fourni à M. Williamson les figures 12, Partie XI et 6, Partie XVI.

Dans chaque série polaire, si l'un des termes est coupé vers le niveau où le pôle est simple, celui qui est à sa droite (1) est en deux pièces; de ces deux pièces, celle de gauche est réduite à une languette, celle de droite est plus ou moins confondue dans la constitution d'un pointement double. Le troisième terme de la série est précisément à l'état de pointement double. Quatre traces foliaires sont liées à ce système, une de chaque côté du pôle simple, celle de gauche commençante mais déjà libre cependant; celle de droite plus avancée. Une troisième sortie est placée entre le pointement en lame mince et le pointement double. Elle adhère encore à la couronne vasculaire ou vient à peine de s'en séparer. La quatrième sortie est placée entre les cornes du pointement double et le bord de la couronne libérienne du stipe. Dans cette région le liber de la couronne est plus différencié, et il est spécialisé par rapport à la pièce sortante. D'une série polaire à la suivante, *quand on marche dans le sens de la série,* il y a progression, c'est-à-dire que les termes de la nouvelle série sont coupés à un niveau plus élevé que les termes homologues de la série précédente

6. — Les trachées sont localisées exclusivement à l'extrémité des pointements polaires. Les éléments ligneux qui leur font suite sont des vaisseaux rayés de plus en plus gros, puis vient une couronne continue de très gros vaisseaux scalariformes sans aucune interposition de fibres primitives. La différenciation de ces éléments est donc centripète, mais tandis que pour les pôles les lignes de différenciation sont bien distinctes, la couronne formée par les grands vaisseaux semble dépendre de tous les pôles à la fois. Les pointements polaires seuls participent à l'émission des traces foliaires. Ils représentent donc plus spécialement la partie sortante du bois, ou tout au moins ils la contiennent. La couronne vasculaire qui n'inter-

(1) Il se peut que pour certains rameaux on doive changer dans cet énoncé droite en gauche et réciproquement.

vient pas dans les sorties joue le rôle de masse réparatrice (1). Cette différenciation se retrouve chez nos Centradesmides actuelles, on la retrouve aussi chez les autres Cryptogames vasculaires. — Il pouvait d'ailleurs y avoir des différences assez considérables sur les deux faces de la couronne vasculaire. D'un côté, par exemple, l'émission des traces foliaires pouvait se faire plus lentement, être plus tardive, alors que sur la face opposée, cette émission était beaucoup plus rapide. De là un côté avec pointements polaires plus nombreux et aussi une couronne vasculaire plus épaisse. Ce dispositif me paraît nettement lié à la disymétrie des rameaux.

7. — Cette différenciation de la couronne vasculaire, cet agencement des séries polaires et l'émission des traces foliaires ne ressemblent en rien à l'agencement verticillé des traces foliaires du *Sigillaria Menardi* et du *Sigillaria spinulosa*. Il ne ressemble pas non plus à l'agencement héliçoïdal des *Poroxylon Edwarsii, Poroxylon Boysseti* non plus qu'à celui de l'*Heterangium Griewii* et de l'*Heterangium tillæoïdes*. Il s'agit ici, non pas de la sortie d'un faisceau unipolaire diploxylé faisant partie d'une couronne libéro-ligneuse évidée ou pleine comme dans ces exemples, mais de l'émission de cordons indéterminés au moins dans leur partie inférieure. Ces cordons s'insèrent latéralement et vers la base des pointements trachéens qui ondulent à la surface d'une couronne vasculaire pour ainsi dire immuable. Les traces foliaires s'échappent de l'angle inférieur des mailles dessinées par les lames trachéennes. Par leur ensemble les traces foliaires dessinent des hélices parallèles. Sur les rameaux que j'ai étudiés, il n'y a pas d'hélice génératrice primaire qui les contienne toutes.

(1) Dès lors on peut s'attendre à voir cette couronne se réduire vers la terminaison des rameaux et dans les axes grêles comme ceux que M. Williamson a représentés figure 12 Partie XI et figure 6 Partie XVI de ses mémoires.

8. — Je n'ai pas vu de production libéro-ligneuses secondaires chez le *Lepidodendron Hartcourtii* dans les stipes d'assez gros calibre (1) suffisamment âgés pour avoir déjà leur zone subéreuse. Est-ce à dire que cette espèce en était toujours dépourvue? Je crois qu'il faut répondre seulement que cette apparition y était particulièrement tardive, certainement plus tardive que dans le *Lepidodendron fuliginosum*. Mais il convient de remarquer que dans les deux spécimens que j'ai étudiés, les parties du liber qui ont été conservées montrent un tissu absolument régulier, normal, sans aucune trace de tiraillements au contact du bois primaire, malgré la disposition radiale qu'imprime aux éléments de cette zone les nombreux appendices qui la traversent. C'est un caractère particulier, propre aux spécimens du *Lepidodendron Hartcourtii* type, et sur lequel je crois devoir insister, que *les fibres primitives qui unissent le bois au liber n'ayant pas été tiraillées, les productions libéro-ligneuses secondaires, ou même simplement la zone cambiale qui peut se trouver dans cette région manquent.* L'apparition des tissus libéro-ligneux secondaires chez les Lepidodendrons du type *Hartcourtii* prend ainsi un caractère accidentel extrêmement accusé; et, d'après ce caractère même l'absence de productions libéro-ligneuses secondaires chez le *Lepidodendron Hartcourtii* ne me semble plus avoir aucune valeur taxonomique (2). La *Théorie du Faisceau*, qui indiquait à priori la position que doivent occuper les productions libéro-ligneuses secondaires dans le *Lepidodendron Hartcourtii*, permettait déjà de penser que la présence ou l'absence de ces

(1) Six à sept centimètres de diamètre.

(2) Ce caractère négatif a été très employé autrefois par les anatomistes. Il n'y a donc pas lieu d'incriminer ou de critiquer à ce propos les paléobotanistes qui y ont eu recours. Leur tort, si tant est qu'on puisse même se permettre cette observation, est d'avoir exprimé de la sorte des différences que les anatomistes ne savaient pas encore lire et ne comprenaient pas; je veux parler de l'opposition des axes à faisceaux unipolaires diploxylés aux axes à masse libéro-ligneuse radiée.

productions n'avait pas à intervenir dans l'appréciation des caractères taxonomiques de la plante et n'en était pas l'expression anatomique. Il se pourrait même aujourd'hui que ce caractère négatif du *Lepidodendron Hartcourtii* disparût par l'étude d'un plus grand nombre d'échantillons.

9. — Les nombreuses pièces sortantes qui traversent la zone libérienne du stipe imposent à celle-ci une disposition générale rayonnée au moins au voisinage immédiat du bois. Toute la zone de fibres primitives qui unit le bois au liber est formée d'éléments placés ainsi radialement Cette région était donc éminemment apte à devenir le siège de cloisonnements tangentiels. La moindre cause, provoquant une mise en activité exceptionnelle de ce tissu, pouvait y déterminer l'apparition de tissus secondaires disposés en séries à la fois radiales et tangentielles, c'est-à-dire au moins un cambiforme, peut-être même une zone cambiale capable d'engendrer du bois et du liber secondaires. Nous trouvons aujourd'hui ce même dispositif rayonné de la région de contact du liber et du bois primaires plus particulièrement dans les axes courts, qui émettent un grand nombre de traces foliaires sur une petite hauteur, quelle que soit d'ailleurs le type de structure auquel ces axes appartiennent. C'est ainsi que nous le rencontrons aussi bien dans le stipe des Isoëtes que dans celui des Ophioglosses et des Botrychium, aussi bien même que dans le stipe des Osmondes, par conséquent dans des types organiques

(1) On dirait que chez ces plantes lépidodendroïdes, les tissus libéro-ligneux secondaires avaient, au moins au début, un caractère accidentel excessivement accusé, non pas seulement parce que ce sont des tissus tardifs par rapport aux autres, mais ils ont manifestement des allures de tissus de blessures, témoin la fig. 11 Partie XI des Mémoires de M. Williamson. C'est là un fait bien remarquable dans des plantes où les tissus libéro-ligneux secondaires pouvaient atteindre ultérieurement et régulièrement un si grand développement. En l'absence de tiraillements blessant les fibres primitives qui unissent le bois et le liber primaires, c'est-à-dire d'une véritable roulure, la zone cambiale et les productions libéro-ligneuses secondaires ne se formaient pas ou n'apparaissaient que très tardivement.

profondément différents les uns des autres. Du fait des sorties nombreuses sur une faible hauteur, la zone libérienne raversée par ces sorties prend un agencement sérié remarquable, éminemment propre à devenir le siège de productions secondaires ; mais conclure de cet agencement rayonné qui peut même intéresser le bois et le liber primaires, à l'existence d'une zone cambiale et de productions secondaires, il y a encore très loin. Les Isoëtes, les Ophioglosses, les Botrychium, les Helminthostachys, les Osmondes même, montrent parfois ce faciès sérié d'une manière très accusée et cependant ils n'ont pas de zone cambiale produisant régulièrement du bois et du liber secondaires (1).

10. — Le liber du *Lepidodendron Hartcourtii* est remarquable par sa faible épaisseur comparativement à ce que nous voyons dans d'autres plantes houillères, *Poroxylon, Sigillaria, Lyginodendron, Heterangium*, qui vivaient dans les mêmes localités. Ce n'est donc point une cause purement physiologique qui détermine cette faible épaisseur, ce caractère a par conséquent une valeur taxonomique. Ce liber est encore remarquable par son extrême homogénéité qui contraste avec la complexité relative du liber des végétaux cités ci-dessus. Tandis que, dans ces derniers, l'opposition entre cellules grillagées et cellules parenchymateuses saute aux yeux et se traduit d'une façon évidente sur une section transversale, il n'en est pas ainsi chez le *Lepidodendron Hartcourtii*, où tous les éléments libériens ont la même section, c'est-à-dire même volume, même forme, même épaisseur de parois ; et il y a lieu de se demander jusqu'à quel point la différenciation de ce tissu était poussée. En l'absence de constatation directe fournie par des coupes radiales et tangentielles, il faut natu

(1) Du moins jusqu'ici l'existence de ces formations, bien qu'elle ait été affirmée d'autorité, n'y a pas encore été établie par une différenciation faite régulièrement.

rellement une très grande réserve. Il est cependant possible d'affirmer que cette homogénéité apparente n'implique pas nécessairement une infériorité organique du tissu libérien de la plante, puisque dans les traces foliaires dégagées de la couronne libéro-ligneuse nous voyons ce tissu libérien, très développé, bien différencié avec un arc sécréteur externe, volumineux et très localisé. Les Isoëtes, les Ophioglosses, les Botrychium, les Helminthostachys et les Osmondes nous montrent des faits analogues. De même, et plus encore que dans ces plantes, la zone limite du liber primaire, celle qui est en contact avec la gaîne, est peu différenciée chez le *Lepidodendron Hartcourtii*. Cette région contient des laticifères.

11. — Le grand développement et la différenciation relative du liber de la pièce sortante libre sont à signaler. Le liber y est formé d'éléments inégaux alignés en séries qui vont du bois à l'arc sécréteur mais sans ordre régulier dans chaque série. Certains plus gros sont peut-être parenchymateux, les autres représentant alors la partie criblée. L'opposition entre éléments grêles et éléments gros n'est pas poussée aussi loin que dans la partie libre de la trace foliaire de nos Isoëtes. Nous constatons une polarisation relative du bois et du liber, ce dernier étant extérieur par rapport au bois.

12. — La pièce sortante ou trace foliaire du *Lepidodendron Hartcourtii* est extrêmement spéciale. Prise dans l'écorce interne et dans l'écorce moyenne, jusqu'à l'entrée de la zone subéreuse, elle paraît au premier abord polarisée et, comme telle, elle paraît appartenir à la catégorie des faisceaux déterminés ou des combinaisons de faisceaux déterminés. Comme dans le faisceau d'une feuille uninerviée, son bois primaire et son tissu grillagé sont en effet placés sur un même rayon, le bois en dedans, les éléments libériens à l'extérieur. L'arc glandulaire qui sépare postérieurement le tissu grillagé de la gaîne

protectrice accentue encore ce dispositif. Que signifie cet agencement? Dépend-il de la nature même de la masse libéro-ligneuse, ou bien n'est-il pas un état spécial provoqué sur un système indéterminé par une cause comme : le voisinage immédiat d'un axe volumineux; le mode de sortie de la trace foliaire; ou encore : la différenciation des deux faces de l'appendice auquel il se rend. Nous trouvons en effet des dispositions analogues dans les masses libéro-ligneuses indéterminées qui forment la trace foliaire des frondes des grands Lycopodes dressés, des *Equisetum* et des *Isoëtes*. Il ne nous est pas possible, actuellement, de nous servir des données recueillies sur la trace foliaire dans la partie libre de la fronde, ou *même dans le coussinet*, des autres espèces de Lépidodendrons et de plantes lépidendroïdes, car, d'une espèce à l'autre, il peut se produire des variations importantes. Ainsi la trace foliaire du *Lepidodendron nothum*, que l'on regarde comme très voisin du *Lepidodendron Hartcourtii*, présente, à ma connaissance, dès l'écorce interne et l'écorce moyenne, des différences sensibles par rapport à celle de cette dernière espèce. Il nous est encore plus difficile de conclure par analogie d'après ce que nous montrent les *Lycopodium*, le *Phylloglossum*, et les *Isoëtes*. Force est donc de nous en tenir aux données fournies par l'étude directe, immédiate. Ce qui est très particulier dans la pièce sortante du *Lepidodendron Hartcourtii* c'est la position de ses trachées. Les trachées, exclusivement intérieures par rapport au bois, y forment une bande étroite perpendiculaire à la surface de symétrie (1). Les autres vaisseaux ligneux sont orientés par rapport à la ligne trachéenne, les antérieurs

(1) Les trachées peuvent être condensées en une masse centrale placée dans la surface de symétrie (2). Elles peuvent aussi manquer, alors tous les éléments ligneux sont de même nature. L'échantillon de M. Hovelacque montre des réductions de ce genre dans quelques traces foliaires.

(2) Il convient de remarquer que cette surface de symétrie passe ici par le centre de figure du stipe.

étant plus grands que les externes. Cette dernière différence s'atténue quand la sortie entre dans la zone subéreuse. Je n'ai pas vu les trachées former deux régions polaires symétriques comme on a cru le remarquer. L'obliquité des sections des traces foliaires les plus voisines de la surface rend d'ailleurs cette constatation très difficile. Il se pourrait aussi que cette disposition eût été particulièrement accentuée dans la pièce sortante du *Lomatofloyos crassicaule*. Mais cette indication, que je donne pour tenir compte des figures de Corda, a besoin d'être confirmée sur les préparations que je n'ai pas vues. — De la position des trachées qui sont manifestement internes par rapport à la masse ligneuse, je crois qu'on doit conclure, malgré la disposition relative du tissu ligneux et du tissu libérien, que la trace foliaire à ce niveau est encore très voisine des cordons libéro-ligneux que j'ai appelés *faisceaux indéterminés*. Il y a lieu cependant de tenir compte de l'étalement de la lame trachéenne perpendiculairement à la surface de symétrie. Je concluerai donc en disant que *la trace foliaire est une masse indéterminée plus élevée organiquement que le faisceau indéterminé type, inférieure à la masse bipolaire à pôles intra-ligneux qu'on a signalée chez le Lomatofloyos crassicaule*. La position excentrique que le liber occupe par rapport au bois ne me paraît pas de nature à infirmer la conclusion ci-dessus, c'est pour moi une modification secondaire analogue à celles que j'ai signalées dans les traces foliaires du *Lycopodium phlegmaria*, des *Equisetum* et des *Isoëtes*, mais sans qu'il me soit possible, faute de matériaux suffisants, d'en préciser la cause exacte. La polarisation relative des tissus ligneux et libériens ne permet donc pas de conclure au-delà de la différenciation provoquée dans une masse indéterminée par la spécialisation des faces de la fronde.

Cette première conclusion est tirée de la trace foliaire prise en un seul point. Or, on sait qu'il faut étudier cette trace

dans toute son étendue pour en apprécier exactement la valeur. Il ne nous est pas possible de la suivre extérieurement faute de matériaux, contentons-nous de la suivre dans sa partie inférieure. En pénétrant dans la masse libéro-ligneuse de l'axe, elle perd rapidement son individualité, du moins en ce qui concerne ses tissus libériens. L'îlot grillagé disparaît le premier, puis l'arc sécréteur se réduit peu à peu à un seul élément et disparaît. La trace foliaire n'est plus alors qu'une masse ligneuse noyée dans la couronne libérienne commune. Par suite, celle-ci paraît comme une sorte de grande anastomose ou pièce réparatrice dans laquelle les parties libériennes des sorties viennent perdre leur individualité, lorsqu'on lit ces traces, comme nous le faisons en ce moment, c'est-à-dire de haut en bas. La pénétration de la trace foliaire dans la couronne libéro-ligneuse de l'axe se fait devant un pointement double qui va s'élargissant et s'effaçant à mesure qu'on descend. Quand l'ensemble de la région polaire élargie se présente sous la forme d'une éminence peu saillante, à deux pointes très éloignées l'une de l'autre, celle de gauche plus forte, celle de droite très courte, la trace foliaire est presque réduite à une masse ligneuse elliptique à grand axe tangentiel. Il ne lui reste plus que des traces du tissu grillagé différencié et de l'arc sécréteur. Plus bas, la trace foliaire réduite à ses éléments ligneux devient peu à peu circulaire, puis elliptique, à grand axe radial. Les trachées encore rapprochées de la face externe du bois deviennent centrales puis disparaissent à leur tour un peu avant que la trace foliaire, réduite alors à quelques vaisseaux rayés étroits, vienne toucher la couronne vasculaire. Pendant que la trace foliaire approche ainsi lentement de la couronne, elle est comprise successivement entre un pôle simple à sa gauche et un pointement en lame mince à sa droite ; puis entre un pôle double à sa gauche et un pointement simple à sa droite ; puis enfin entre un pointement en lame mince à sa gauche

et un pointement double à droite. La trace foliaire disparaît dans la partie droite de la base d'un pôle simple sans modifier la couronne vasculaire, sans même laisser de trace dans la base du pôle (1). Il est bien clair, d'après ce résumé, que dans cette région inférieure la valeur morphologique de la trace foliaire se réduit de plus en plus. C'est ainsi qu'elle devient simple cordon ligneux à trachées tangentielles, cordon ligneux à trachées centrales, cordon ligneux primaire non polarisé ou sans trachées, c'est à cet état que nous la voyons disparaître dans la base d'une région polaire, latéralement par rapport à cette ligne de différenciation. — La sortie se dégage donc du pôle sans l'entraîner, elle est légèrement latérale par rapport au pôle, et sa valeur d'abord, inférieure à un faisceau indéterminé, s'élève, à mesure qu'elle devient plus indépendante, à celle de cordon libéro-ligneux indéterminé, ce cordon présentant même un étalement des trachées perpendiculairement à la surface de symétrie de la pièce sortante. Si les indications relevées sur les figures du *Lomatofloyos crassicaule* sont confirmées, il semble même qu'il y ait une tendance à condenser les trachées de la trace foliaire en deux groupes intra-ligneux symétriques. (2)

En se dégageant de l'intérieur du pôle, la trace foliaire s'échappe radialement (3). Elle gagne lentement la surface de manière à laisser dans nos spécimens 57 à 67 pièces dans la couronne libérienne, environ 95 dans l'écorce interne et de 33 à 40 dans l'écorce moyenne ; soit 185 à 202 pièces sortantes entre le bois et la zone subéreuse, pour des rameaux de

(1) Nous avons vu cependant dans l'échantillon de M. Hovelacque des traces foliaires conserver une certaine individualité après leur englobement dans la base de la région polaire.

(2) Malgré cette localisation des trachées en deux groupes focaux, la trace foliaire du *Lomatofloyos crassicaule* reste inférieure à un faisceau bipolaire type.

(3) Abstraction faite d'un petit mouvement de torsion qui entraîne peut-être légèrement la trace foliaire dans le sens de l'hélice secondaire dont elle fait partie.

6 à 7 centimètres. Prise près de son origine, la trace foliaire ne représente donc, par rapport à l'axe, qu'une très petite fraction de circonférence. En s'éloignant du centre elle s'élargit tangentiellement en valeur absolue jusque vers le tiers intérieur de l'écorce moyenne, mais l'arc qu'elle soutend ne dépasse jamais 2° ou 3°. C'est vers la zone rayonnée de l'écorce interne que se trouve le maximum de largeur angulaire de la trace foliaire. Chaque trace foliaire est donc par elle-même presque insignifiante, mais d'autre part leur grand nombre fait intervenir un cœfficient très élevé, qui exige qu'on en tienne compte. Est-ce à dire pour cela que les pointements polaires de l'axe sur lesquels elles se jettent n'ont pas d'existence propre et n'existent que comme sympodes de traces foliaires, je crois que cette manière d'interpréter les faits aboutit à une exagération.

Les régions nodales sont extrêmement réduites. Nous en avons signalé 38 dans un rectangle de 962 millimètres carrés. Chaque coussinet occupe donc environ une surface de 25^{mmq} *au niveau de la zone subéreuse* (1). La région nodale ne constitue donc pas dans le stipe du *Lepidodendron Hartcourtii* une région immédiatement visible. Leur grand nombre exige cependant qu'on en tienne compte ; c'est ce que nous avons fait en établissant les variations de structure de la trace foliaire dans toute son étendue (2).

Je n'ai pas vu de productions libéro-ligneuses secondaires dans la pièce sortante.

Je ne pense pas qu'on puisse regarder la disposition du bois dans la pièce sortante du *Lepidodendron Hartcourtii* comme une indication de bois diploxylé. Les vaisseaux antérieurs du bois sont bien différenciés postérieurement aux trachées et ils sont bien compris entre les trachées et le bord antérieur

(1) Ces mesures sont données d'après la fig. 4 Pl. 1 du travail de Witham.

(2) Je ne puis comparer cette trace foliaire à celle des Sigillaires que je n'ai pas étudiée personnellement d'une manière suffisante.

du massif libéro-ligneux, mais pour moi ils sont de même âge que les vaisseaux rayés extérieurs. La différenciation est concentrique par rapport à la lame trachéenne et non pas seulement localisée d'un seul côté de cette lame comme dans le faisceau unipolaire diploxylé. La différence constatée entre les vaisseaux des deux faces répond non à l'opposition de vaisseaux primaires rayés et de fibres ligneuses secondaires, mais à un fait analogue à la constitution du diaphragme aquifère qui s'établit près du sporange des Isoëtes. Ce bois ne ressemble en rien à celui des traces foliaires des Poroxylons. Il ne ressemble pas davantage à ceux des Lyginodendrons et des Heterangium (1). Je crois donc qu'on ne peut pas homologuer le dispositif du bois primaire de la trace foliaire du *Lepidodendron Hartcourtii* à un faisceau unipolaire diploxylé.

Il n'y a aucun rapport entre la trace foliaire et la ramification du stipe. Nous n'avons certainement pas là la ramification axillaire si nette des Sigillaires Favulariées, ni celle des Poroxylons, nous n'avons pas davantage celle des Lyginodendrons et des Heterangium. Cette donnée résulte non de l'étude des échantillons que j'ai pu observer, mais ressort avec toute l'évidence désirable des fig. 9 et 12, partie XI, fig 1 à 6, partie XVI des mémoires de M. Williamson. La ramification du *Lepidodendron Hartcourtii* était dichotomique égale ou inégale.

13. — L'appareil laticifère du *Lepidodendron Hartcourtii* est extrêmement développé. Signalé dès les premières études dont cette plante a été l'objet, sa signification n'a pas été

(1) L'importance relative des régions nodales et des traces foliaires est beaucoup plus considérable dans la plupart des plantes que l'on compare avec le *Lepidodendron Hartcourtii*. Chez le *Sigillaria Menardi* elles correspondent à $\frac{1}{46}$ de circonférence. Chez le *Poroxylon Edwarsii* elles valent de $\frac{1}{13}$ à $\frac{1}{5}$ de circonférence.

comprise jusqu'ici. Autrefois on le rapportait au tissu ligneux, plus récemment on y a vu des fibres libériennes. Ces éléments ont une structure identique à celle que nous avons signalée M. Renault et moi, pour les tubes gommeux ou tannifères des Poroxylons (1). Dans la masse libéro-ligneuse du stipe, les laticifères sont placés à la périphérie du liber contre la gaîne, mais ils peuvent s'avancer dans toute l'épaisseur de la couronne libérienne sans que ce dispositif puisse être considéré comme un fait accidentel. On ne peut donc s'appuyer sur l'existence de ces éléments sécréteurs pour justifier la distinction d'une zone dite *péricyclique* à la périphérie du liber. Le tissu laticifère, réduit à des éléments solitaires placés sans ordre entre les sorties, se localise et augmente d'importance, et par le nombre de ses éléments, et par l'étendue de l'arc sécréteur, dès que la pièce sortante acquiert un peu d'autonomie. L'arc laticifère augmente ensuite d'importance à mesure que la trace foliaire s'éloigne du centre de figure du stipe. Dans la traversée de l'écorce moyenne, cet accroissement est véritablement surprenant. Cet arc sécréteur fournira peut-être quelque jour des caractères spécifiques. Ainsi il existe légèrement modifié chez le *Lepidodendron fuliginosum*, mais je crois pouvoir affirmer, dès maintenant, qu'il fait défaut dans le *Lepidodendron nothum* de Unger. Le très grand développement du tissu laticifère dans la trace foliaire lorsqu'elle approche de la surface en fait une région à part, revêtue extérieurement par la gaîne protectrice. Est-ce une raison suffisante pour le séparer du liber, je ne le pense pas (2). Je ne puis rien spécifier sur la nature du contenu des éléments laticifères. D'après sa coloration brune et son aspect concrété, on a pensé qu'ils

(1) Les rapports morphologiques et les dimensions seules diffèrent.

(2) L'accroissement d'importance du tissu laticifère dans la trace foliaire, lorsque celle-ci s'éloigne du centre, est un fait très général. Mais ici nous le voyons accentué à un très haut degré.

pouvaient avoir contenu une matière gommeuse. D'après leur forme, ils rappellent les cellules à tannin d'origine libérienne de beaucoup de Cryptogames vasculaires.

14. — La partie périphérique de l'écorce moyenne et la région profonde de la zone subéreuse contiennent de petites glandes multicellulaires dues peut-être à un commencement de gommification des parois, si on en juge par l'aspect de celles-ci. Dans la même région, on voit également des sortes de petits séquestres entourés de cellules recloisonnées de manière à isoler le séquestre. Peut-être y a-t-il une liaison plus intime entre ces deux ordres de productions.

15. — Quelles sont maintenant la signification de la masse libéro-ligneuse de l'axe du *Lepidodendron Hartcourtii* et la valeur morphologique de cet axe? Dans tout ce qui précède, j'ai cru devoir employer le mot *stipe* pour désigner cet axe; mais cette expression, que j'ai définie naguère, s'applique à une catégorie de membres bien particuliers caractérisés par la nature et l'orientation de leurs faisceaux ainsi que par leurs appendices. Jusqu'à quel point l'axe du *Lepidodendron Hartcourtii* satisfait-il à ces conditions?

Les pointements trachéens de la masse libéro-ligneuse étant périphériques par rapport à la masse et non centraux, le système des faisceaux est certainement formé de faisceaux déterminés. Nous excluons par cela même toute la catégorie des Membres que j'appelle *Surfaces indéterminées*.

En second lieu, il s'agit bien ici d'un membre ayant la valeur d'un axe. Nous y constatons en effet plusieurs surfaces de symétrie passant par le centre de figure. Les pièces sortantes sont symétriques par rapport à une surface qui passe également par ce point central. Nous constatons de plus un dispositif héliçoïdal, c'est-à-dire qu'à un niveau donné, comme

dans les tiges et les stipes de cette sorte, nous avons une surface de symétrie prédominante par rapport aux autres. Nous avons donc affaire à un *axe*. — De quelle nature est cet axe ?

Les régions polaires de la masse libéro-ligneuse sont périphériques, très nombreuses, et pour toutes la différenciation est régulièrement centripète. Nous avons donc dans cette masse :

ou bien un seul faisceau multipolaire à pôles nombreux ;

ou bien une masse libéro-ligneuse radiée ;

ou bien un système de nombreux faisceaux unipolaires diploxylés rapprochés latéralement de manière à former une couronne continue (1).

Je ne crois pas qu'on puisse regarder cette masse comme un seul faisceau multipolaire à pôles nombreux. Les pôles, en effet, n'ont pas tous la même valeur, sans que ces variations soient assimilables à celles qui se produisent dans un faisceau multipolaire type par le fait de la confluence de deux lames polaires voisines ou par la division d'une de ces lames. Ces variantes s'observent d'ailleurs sur toute la périphérie de la masse et non pas seulement en deux points comme dans les pseudo-dichotomies du faisceau des racines des Lycopodes rampants. Les divisions et les fusions des lames polaires que nous observons ici indiquent un système d'ondulations dont on ne voit pas d'exemple dans les faisceaux multipolaires. Tandis que dans un faisceau multipolaire nous trouvons entre deux pôles consécutifs un groupe libérien très différencié, avec éléments grillagés bien caractérisés, ce caractère fait défaut dans la masse libéro ligneuse du *Lepidodendron Hartcourtii*. Quand les îlots grillagés s'y différencient, c'est pendant que se forme l'élévation polaire, juste en face du pôle, et non pas sur ses flancs. La distance des pointements polaires à la surface de

(1) Dans l'état actuel de nos connaissances d'Anatomie comparée, il ne me paraît pas y avoir d'autres interprétations possibles.

la masse libéro ligneuse est remarquablement grande pour un faisceau multipolaire. La confluence latérale des lignes de différenciation pour donner un anneau vasculaire est non moins surprenante. Il en est de même du rôle de pièce réparatrice joué par cette région du massif ligneux. Pour toutes ces raisons je crois donc qu'il convient de rejeter l'interprétation de faisceau multipolaire à pôles nombreux (1).

D'autre part, je ne crois pas, d'après les indications que nous possédons en ce moment, qu'on puisse conclure, pour la signification de cette masse libéro-ligneuse, à un système de nombreux faisceaux unipolaires diploxylés, rapprochés de manière à former une couronne continue. A cette manière d'interpréter, je vois les objections suivantes : dans un tel système, nous aurions un îlot grillagé devant chaque pôle, au moment où celui-ci est à l'état de pôle simple. Or, c'est avant qu'il ait atteint cet état que nous constatons un îlot libérien différencié dans cette région et cet îlot grillagé est lié non pas au pôle même, mais à une masse ligneuse sortante intercalée entre le pôle et l'îlot grillagé. La sortie est bien radiale, mais ce n'est pas le pointement polaire même qui sort, soit directement comme celui des Sigillaires, soit en s'élargissant et se dichotomisant une ou plusieurs fois comme chez les *Sigillariopsis*, les Lyginodendrons, les Heterangium ou les Poroxylons. Chez le *Lepidodendron Hartcourtii* nous savons que la trace foliaire part de la jonction de la lame polaire avec la couronne vasculaire latéralement à ce pôle, tel n'est pas jusqu'ici le mode de sortie des pièces unipolaires diploxylées connues. Même quand la concentration du bois

(1) On aurait pu citer encore comme caractère différentiel entre ce massif et un faisceau multipolaire les émissions de traces sortantes, mais si les faisceaux multipolaires que nous connaissons en sont constamment dépourvus cela tient peut-être uniquement à ce qu'ils appartiennent toujours à des racines. Il ne serait peut-être pas impossible qu'une autre catégorie d'axes présentât précisément ce dispositif.

primaire au centre de figure est poussée à son plus haut degré comme dans l'*Heterangium Griewii* et l'*H. tillœoïdes* la sortie n'a pas ce caractère de latéralité par rapport au pôle, c'est toujours une sortie directe qui se fait sur le pôle même et qui l'enlève. A aucun moment je ne vois non plus un faisceau diploxylé tant soit peu indépendant par rapport au reste de la couronne. Ce fait est très surprenant, sachant que nous avons dans l'épaisseur de la zone libérienne 50 pointements polaires et 57 à 67 traces foliaires, c'est-à-dire quand nous avons sous les yeux toutes les phases de l'émission d'une trace foliaire. Or, chez les Heterangium comme chez les Sigillaires, nous trouvons toujours cette indication au moins dans la région d'émission de la sortie, il est invraisemblable que dans un système moins concentré nous n'en trouvions pas l'indication. Dans la partie libre de la trace foliaire qui nous est connue aujourd'hui, cette pièce n'est pas diploxylée. La ramification des lames polaires du *Lepidodendron Hartcourtii* ne ressemble pas non plus à celle du pôle d'un faisceau unipolaire diploxylé. Le mode d'élargissement du groupe trachéen pendant la sortie est également tout différent. Tandis que dans le *Lepidodendron Hartcourtii* la masse trachéenne, d'abord centrale, tend à devenir excentrique et s'étale en une lame continue perpendiculaire à la surface de symétrie; dans le faisceau unipolaire diploxylé sortant, le pôle se partage radialement en deux, ces deux parties tournent autour du point initial commun, restent un moment pointe à pointe avant de se séparer, puis elles se séparent et redeviennent parallèles par une nouvelle version en sens inverse de la précédente (1).

(1) C'est de la sorte que se fait l'élargissement du pôle de la pièce sortante lorsque le pointement polaire est fortement saillant. Tel devrait être le cas ici, étant donné la forte saillie des pôles de la masse libéro-ligneuse du *Lepidodendron Hartcourtii*. Chez les Heterangium, où la saillie polaire du faisceau unipolaire diploxylé est beaucoup

Devant toutes ces objections tirées de la structure même de la masse et auxquelles il ne me paraît pas possible de donner une réponse satisfaisante pour le moment, je crois qu'il faut écarter aussi l'interprétation qui voit dans la masse libéro-ligneuse de l'axe du *Lepidodendron Hartcourtii* une couronne de faisceaux unipolaires diploxylés.

Ayant ainsi rejeté deux des interprétations sur les trois qui sont possibles dans l'état actuel de nos connaissances, la troisième convient-elle? Doit-on voir dans ce massif libéro-ligneux une masse radiée, c'est-à-dire un assemblage équivalent à un système de faisceaux bipolaires ayant tous même centre de figure? L'origine des sorties qui sont latérales par rapport aux lames polaires; la position des pôles à une distance notable du bord de la masse; la minceur relative du liber et son homogénéité; la constitution d'ilots grillagés au dos des sorties quand celles-ci abandonnent la masse centrale; la présence de nombreuses sorties réduites à leur bois dans une partie de la traversée du liber; la constitution d'une masse réparatrice par la différenciation des éléments vasculaires les plus internes; le nombre si élevé des traces foliaires eu égard au nombre des régions polaires, sont des caractères très sérieux qui sont tous favorables à cette interprétation. Nous les retrouvons à des degrés divers chez nos Centradesmides actuelles qui sont pourtant très éloignées du *Lepidodendron Hartcourtii*, nous les retrouvons aussi chez le *Lycopodiopsis Derbyi* que M. Renault vient de faire connaître. Il devient donc très probable, par exclusion d'une part, et d'autre part par concordance d'un grand nombre de caractères positifs, que nous avons affaire chez le *Lepidodendron Hartcourtii* à un stipe dont

moins grande, le mode d'étalement des trachées initiales est un peu différent, c'est un étalement tangentiel suivi d'une localisation en deux groupes symétriques, mais pendant ce mouvement les trachées sont toujours externes par rapport au bois primaire.

la masse libéro ligneuse est radiée. Je ne crois pas que pour ce qui est de la détermination de la valeur morphologique de l'axe il subsiste de doute. Il n'en est peut-être pas de même pour l'attribution de la masse libéro-ligneuse aux masses radiées. Il ne m'est pas possible, en effet, de montrer pour le moment la liaison des pôles diamétralement opposés. Cette constatation est déjà extrêmement difficile chez les Lycopodes et le Phylloglossum, où le nombre des faisceaux élémentaires est pourtant peu élevé. Qu'est-ce donc quand il s'agit d'un sytème qui comprendrait 25 faisceaux élémentaires comme les rameaux que nous avons étudiés. La distribution conjuguée des sorties qui est le caractère ordinairement employé pour déterminer les extrémités d'un faisceau élémentaire subsiste-t-il encore ? je n'oserais l'affirmer, surtout en voyant la manière dont se comporte la région polaire après chaque émission de sortie. Il subsiste donc là un point douteux, et c'est pourquoi j'ai dû avoir recours à la marche indirecte que j'ai suivie dans cette analyse morphologique. Je ferai donc de l'axe du *Lepidodendron Hartcourtii* un stipe dont la masse-libéro-ligneuse est très probablement une modification des masses radiées. La nature indéterminée de la trace foliaire dans la partie que nous en connaissons concorde avec cette détermination (1).

(1) Chez nos Lycopodes actuels, je ne connais pas de dispositif rappelant immédiatement celui du *Lepidodendron Hartcourtii*. J'y vois bien des pointements trachéens périphériques assez éloignés du bord du massif libéro-ligneux, mais je n'en connais pas avec un anneau vasculaire continu. Ordinairement le liber pénètre entre les lames ligneuses beaucoup plus qu'il ne le fait chez le *L. Hartcourtii*. Cette disposition s'exagère à un très haut degré dans les rameaux horizontaux des Lycopodes rampants. — Dans l'axe spicifère du *Phylloglossum* la masse libéro-ligneuse comprend à l'intérieur d'une zone libérienne six groupes ligneux plus ou moins indépendants, pouvant former parfois un anneau ligneux, mais les trachées sont centrales dans ces groupes ligneux. Il y a peut-être plus de ressemblance entre cet état et celui du *Lepidodendron Hartcourtii* qu'entre ce dernier et les Lycopodes. Malheureusement l'axe spicifère du *Phylloglossum* s'insère inférieurement sur un diaphragme aquifère, et d'autre part sa partie supérieure procède immédiatement à une dispersion complète dans les frondes de l'épi.

16. — Je ne puis comparer le *Lepidodendron Hartcourtii* avec les plantes lépidendroïdes que l'on regarde comme immédiatement voisines. Malgré tout l'intérêt qu'elle présenterait, il n'est pas possible de faire en ce moment cette comparaison d'une manière tant soit peu sérieuse. Nous ne connaissons actuellement sur la plupart de ces formes lépidendroïdes que leurs régions ; or, il nous faudrait pour chacune d'elles une analyse anatomique analogue à celle que je viens d'esquisser pour le *Lepidodendron Hartcourtii.* D'autre part, les plantes houillères comme les Lyginodendrons, les Heterangium, les Poroxylons qui nous sont mieux connues sont, au contraire, trop éloignées des Lépidodendrons pour nous donner autre chose que des différences. Il ne nous reste donc plus qu'à voir si dans les

Nous avons donc chez le Phylloglossum un système extrêmement réduit qui n'est guère utilement comparable avec notre plante fossile tant la différence est considérable. — Que donne la comparaison avec les Isoëtes ? L'interprétation de la masse libéro-ligneuse du stipe des Isoëtes n'a pas encore été donnée. Elle appartient à un axe extrêmement raccourci, sans régions internodales, et à faisceaux condensés au centre de figure. La masse libéro-ligneuse est constituée par un groupe central de trachées courtes formant un diaphragme aquifère plein sans aucune saillie polaire périphérique reconnaissable. Le liber primaire homogène mince est parenchymateux, avec une disposition rayonnée très accusée provoquée par les sorties des traces foliaires. Ce massif libéro-ligneux est certainement très différent de celui du stipe de *Lepidodendron Hartcourtii,* mais nous sommes ici en présence d'un axe profondément dégradé par l'aquatisme. Il nous faut donc ne pas conclure, d'autant que dans le cordon libéro-ligneux de la fronde de l'Isoëtes nous trouvons une polarisation relative du bois et du liber ainsi qu'une différenciation du liber comparables à ce que nous voyons chez le Lépidodendron.

Comme autres exemples de masses libéro-ligneuses avec anneau vasculaire et pointements trachéens externes chez les Centradesmides, on peut encore citer le dispositif de la masse libéro-ligneuse des gros rhizomes de *Selaginella Lyallii* et celui de la masse libéro-ligneuse des gros rameaux des Psilotum, bien que ces deux exemples soient certainement sans aucun rapport avec ce que montre le *Lepidodendron Hartcourtii.* Chez la *Selaginella Lyallii,* nous avons affaire à un faisceau bi-polaire dispersé sur lequel sont insérés des porte-racines. Les traces foliaires partent donc de quatre points seulement. Il y a du liber différencié sur les deux faces de l'anneau vasculaire. On voit même parfois un ou plusieurs groupes libéro-ligneux avec ou sans trachées au centre de l'anneau. Chez les Psilotum il s'agit de cladodes ronds dont les rameaux élémentaires se rencontrent sous n'importe quel angle. Bien que dans ce système nous ayons de nombreux pointements trachéens, on ne voit pas de traces foliaires s'en échapper. Il n'y a donc là rien de comparable au *Lepidodendron Hartcourtii.*

caractères de la plante même nous trouverons quelques indications sur sa place taxonomique.

Tous les caractères de l'axe du *Lepidodendron Hartcourtii* sont des caractères cryptogamiques et même des caractères de plante centradesmique. La masse libéro-ligneuse à pointements trachéens externes, l'émission des appendices, la ramification, la structure de la trace foliaire concluent toutes dans ce même sens. D'autre part, bien qu'on ne puisse encore rapporter avec certitude au *Lepidodendron Hartcourtii* telle forme de Lépidostrobus, on retrouve certainement dans la structure de quelques Lépidostrobus les principaux caractères de sa masse libéro-ligneuse. Il est donc certain que le *Lepidodendron Hartcourtii* était, comme on l'a admis, une Cryptogame vasculaire centradesmique à fructification spiciforme. Cette forme végétale était beaucoup plus différenciée que ne le sont les représentants actuels de ce groupe, par la puissance de sa masse libéro-ligneuse, par le développement de son appareil sécréteur, par la complication de sa trace foliaire, par ses tissus secondaires. Il avait au moins une zone subéreuse très développée, et peut-être même, tardivement il est vrai, des productions libéro-ligneuses secondaires. Voit-on du moins apparaître dans cette plante quelques caractères phanérogamiques ? Pour moi je n'en vois jusqu'ici aucun de bien net. La polarisation relative du bois et du liber dans la trace foliaire se retrouve non seulement chez les Isoëtes, mais encore chez le *Lycopodium Phlegmaria,* les Equisetum, les Ophioglosses et les Botrychium. Il en est de même de la sortie radiale de la trace foliaire. Quant aux productions libéro-ligneuses secondaires ces formations existent chez le *Sphenophyllum*. Si donc il existe dans le *Lepidodendron Hartcourtii* une indication de caractères phanérogamiques, ce ne peut-être que dans les parties que je n'ai pas analysées. Le stipe et la base de la fronde ne montrent rien de semblable d'une façon certaine.

EXPLICATION DES PLANCHES

Structure du stipe du Lepidodendron Hartcourtii With.

Planche I

Fig. 1. — Section transversale d'ensemble d'après la préparation moyenne gr. $\frac{6}{7}$.

C. Centre de figure du stipe.

γ. Centre de figure de la masse libéro-ligneuse. — γ coïncidait avec *C.* Par suite du déplacement de la masse, il a été rapproché de la face antérieure.

fp. Fibres primitives centrales décollées de la couronne vasculaire.

cl. Couronne ligneuse rompue en deux points.

ec. i. Ecorce interne.

ec. m. Ecorce moyenne. — Les nombres inscrits sur les traces foliaires sont arbitraires. Ils n'ont pour but que de permettre de nommer individuellement chacune de ces traces. — *R.* Lignes de rupture. — *D.* Déchirure contenant un organe stigmarioïde. — *St.* Organes stigmarioïdes.

ma. Masse amorphe de remplissage.

Fig. 2. — Section transversale d'ensemble d'après la préparation supérieure. Gr. $\frac{6}{7}$. — Les traces foliaires qui existent déjà sur la section précédente sont notées de la même manière.

Fig. 3 — Section transversale d'ensemble d'après la préparation de M. Hovelacque. Gr. 2.

Fig. 4. — Section transversale de la masse libéro-ligneuse d'après la préparation de M. Hovelacque. Gr. 6. — Le liber, ayant été presque complètement dissout, il n'est pas possible d'en marquer la limite externe. La disparition du liber s'est faite sur place sans provoquer de tiraillements comme le montrent les nombreux cordons sortants contenus dans ce tissu qui sont presque tous demeurés en place.

Fig. 5. — Un arc de la couronne ligneuse d'après la préparation de M. Hovelacque. Gr. 12. — Cet arc comprend quatre séries de régions polaires commençant aux pointements polaires P_1, P_2, P_3, P_4, plus une

demi série située à droite de P_1 et qui commençait au pôle P_{19}. Le pointement P_1 est déjà divisé en deux lames P_{1d}, P_{1g}, et il émet la trace foliaire S_1. Le pointement P_2 joue à la fois le rôle de pointement double dans la série qui commence en P_1 et comme tel doit porter la notation $\left(P'_{\delta 1} + P''_{gg}\right)$; d'autre part il commence une deuxième série de régions polaires et comme tel doit porter la notation P_2. — Dans ce pôle P_2 on voit déjà un ilot d'amylome, cet arc est pris vers le milieu de la face postérieure de la couronne ligneuse (1).

(Notation générale des régions polaires et des traces foliaires dans la traversée du liber).

P_1. Pôle qui commence la première série de régions polaires lorsqu'il est à l'état de pointement simple. P_{1g}, sa lame gauche. P_{1d}, sa lame droite lorsque le pôle P_1 s'est ouvert pour émettre la trace foliaire S_1 ; S_1 est donc la trace foliaire qui s'insère dans la base du pôle P_1 et un peu à sa droite.

φ. Amas de fibres primitives ou amylome qui indique dans le pôle la région où s'insère la trace foliaire émise par ce pôle.

S'_d Trace foliaire placée à la droite du pôle P_1, S'_g. Trace foliaire située à la gauche de P_1.

$P'_{\delta g}$. Pointement en lame mince situé à droite du pôle P_1 ; lame gauche du pôle P'_δ devenue plus ou moins courte.

S'_δ. Trace foliaire émise par le pôle P'_δ.

$\left(P'_{\delta d} + P''_{gg}\right)$. Pointement double situé à droite du pôle P_1 et à gauche du pôle P_2. Il est formé de l'anastomose d'une lame $P'_{\delta d}$ qui vient de la droite du pôle P'_δ et d'une autre lame P''_{gg} qui vient de la gauche du pôle P''_g.

$S^{1\text{-}2}$ Trace foliaire superposée au pointement double $\left(P'_{\delta d} + P''_{gg}\right)$

S''_g Trace foliaire émise par le pôle P''_g. S''_g commence la deuxième série de régions polaires.

Pour passer des notations d'une série à celles de la série suivante lorsqu'on marche dans le sens de la série comme nous l'avons fait ci-dessus, il suffit de changer 1 en 2, 2 en 3, ′ en ″, ″ en ‴ etc. Pour passer de la série qui précède la première à celle-ci, il suffit dans nos spécimens qui comportent l'un et l'autre 19 séries de régions polaires de changer 19 ou 0 en 1, XIX ou 0 en′.

(1) Ne pas oublier que dans cet échantillon il faut changer droite en gauche et vice-versa, les séries polaires étant sénestres au lieu d'être dextres comme dans le premier. De plus, sur cette face de la couronne vasculaire, l'émission des traces foliaires est plus rapide.

Dans cet échantillon de M. Hovelacque dont les séries sont senestres au lieu d'être dextres, il conviendrait peut-être de changer δ en γ, d en g et réciproquement pour avoir des notations absolument conformes à la réalité.

Planche II.

Fig. 6. — Un pôle simple ou pointement simple du bois primaire. D'après la préparation moyenne, face postérieure de la couronne. Gr. 55.

Fig. 7. — Un pôle simple avec traces d'amylone (fibres primitives grêles à parois minces intercalées dans le bois). D'après la préparation moyenne, face postérieure de la couronne. Gr. 55.

Fig. 8. — Un pôle simple procédant à l'émission d'une trace foliaire. D'après la préparation moyenne, face postérieure de la couronne. Gr. 55.

Fig. 9. — Un pôle simple et un pointement en lame mince. D'après la préparation supérieure, face postérieure de la couronne. Gr. 55.

Fig. 10. — Un pointement en lame mince et un pointement double. D'après la préparation supérieure, face latérale droite de la couronne. Gr. 55.

Nota. Pour les figures 6 à 10, les notations employées sont celles qu'auraient ces parties si elles appartenaient à la première série de régions polaires.

Fig. 11. — Section transversale des fibres primitives centrales dans une région où les recloisonnements sont peu nombreux. D'après la préparation supérieure. Gr. 55.

Fig. 16. — Section transversale de la région périphérique du liber. D'après la préparation moyenne. Gr. 100.

λ. Laticifères.
G. Gaine protectrice ou gaine casparyenne.
ec. i. zr. Zone rayonnée de l'écorce interne.
⟶ C. Direction dans laquelle est placé le centre de figure.

Planche III

Fig 12 et 12 bis. — Section transversale de la région de contact des fibres primitives centrales et de la couronne vasculaire. D'après la préparation de M. Hovelacque. Gr. 35.

Fig. 13. — Portion du même tissu prise à une petite distance de la couronne vasculaire. Gr. 35.

Fig. 14. — Région centrale du même tissu. Gr. 35.

Fig. 15. — Section transversale de la couronne libérienne, montrant l'épaisseur totale du liber et les rapports de ce tissu avec le bois. Gr. 100.

P_1. Pôle simple avec fibres primitives indiquant la région où se fera la sortie S_1. — S'_d. Sortie droite du pôle P_1.

l. fp. Fibres primitives qui unissent le bois au liber.
Pour les autres lettres, voir Fig. 16. Pl. II.

Fig. 17. — Section transversale de l'écorce interne prise dans sa région moyenne entre les traces sortantes. D'après la préparation de M. Hovelacque. Gr. 35.

Fig. 18. — Section transversale de l'écorce moyenne prise dans sa région de contact avec l'écorce interne. D'après la préparation de M. Hovelacque. Gr. 35.

Fig. 19. — Section transversale du même tissu dans la même région, en un point où une trace foliaire pénètre dans l'écorce moyenne. Gr. 35.

ec. m. zp. Ecorce moyenne, zone profonde.
S. Trace foliaire. *B*, son bois. λ son arc lacitifère. *G.* limite extérieure de la gaîne protectrice. *lac. p*, lacune postérieure.

Fig. 24. — Section transversale de la région périphérique de l'écorce moyenne au contact de la zone subéreuse. D'après l'échantillon de M. Hovelacque. Gr. 35

ec. m. z ex. Ecorce moyenne, zone externe.
Z. sub. Liège séparant l'écorce moyenne du tissu des coussinets.
cbf. Région du cambiforme diffus.

Planche IV.

Fig. 20. — Section transversale de l'écorce moyenne prise dans sa région moyenne. D'après la préparation de M. Hovelacque. Gr. 35.

Fig. 21. — Section transversale de l'écorce moyenne montrant le *parichnos* ou tissu qui accompagne la trace foliaire. D'après la préparation de M. Hovelacque. Gr. 55.

ec. m. z ex. Ecorce moyenne, zone externe.
t. ac. Tissu parichnique.
G. Gaîne protectrice de la trace.
λ Laticifères.

Fig. 22. — Section transversale de l'écorce moyenne prise dans sa région périphérique. Le parichnos n'atteint pas encore la zone subéreuse. Ce tissu est séparé de la gaîne protectrice par une grande déchirure. D'après la préparation inférieure. Gr. 35.

Fig. 23. — Section transversale du même tissu dans la même région, prise en un point où le parichnos atteint la zone subéreuse — D'après la préparation inférieure. Gr. 35.

Fig. 25. — Section transversale de la région périphérique de l'écorce moyenne au contact de la zone subéreuse. D'après l'échantillon de M. Hovelacque. Gr. 35.

gl. c. Glande corticale.

Fig. 38. — Section transversale de la trace foliaire S'''_d qui correspond à l'intervalle des pointements P_3 et $P'''_{\delta g}$. Gr. 55.

Planche V.

Fig. 26. — Section transversale de la partie périphérique de l'écorce moyenne montrant un séquestre. D'après l'échantillon de M. Hovelacque. Gr. 100.

Fig. 27. — Section transversale d'un arc de la couronne ligneuse, d'après la préparation moyenne. Gr. 12. — Cet arc comprend trois séries polaires complètes (1). Grâce à la persistance partielle de la périphérie du liber, toutes les traces foliaires qui traversent cette partie du liber sont représentées. En général, celles qui ont été légèrement déplacées sont facilement raccordables. Les parties occupées par les éléments ligneux grêles sont ombrées. — Le pointement double $\left(P'''_{\delta d} + P^{IV}_{gg}\right)$ de la troisième série joue en même temps le rôle de pointement simple de la quatrième série.

Fig. 28. — Section transversale d'un pointement simple ou pôle simple, d'après la préparation moyenne, région postérieure droite. Gr. 55. Le bombement du flanc droit est bien accusé.

Fig. 29. — Un arc de la couronne libéro-ligneuse, d'après la préparation inférieure, partie droite. Cette région correspond à deux séries polaires complètes et permet de repérer les fig. 30 à 38 (2). Gr. 35.

Fig. 30. — Le pointement simple P_1 de la figure 29 et les deux sorties S'_g et S'_d. Gr. 55.

Fig. 32. — Le pointement double $\left(P'_{\delta d} + P''_{gg}\right)$ et les trois sorties S'_δ. S^{1-2}, S''_g.

Fig. 37. — La trace foliaire $S^{2\ 3}$ superposée au pointement double $P''_{\delta d} + P'''_{gg}$. — Les laticifères ont été déplacés.

Planche VI.

Fig. 31. — Le pointement en lame mince $P'_{\delta g}$ et les deux sorties S'_d et S'_δ.

Fig. 33. — Le pointement simple P_2 et les deux sorties S''_g et S''_d.

Fig 34. — Le pointement en lame mince $P''_{\delta g}$. et les deux sorties S''_d et S''_δ

Fig. 35. — Le pointement double $\left(P''_{\delta d} + P'''_{gg}\right)$ et les deux sorties S''_δ et S'''_g. La sortie S^{2-3} superposée à ce pointement est représentée par la fig. 37.

(1) C'est environ $\frac{1}{6}$ exactement $\frac{3}{19}$ de la couronne ligneuse qui est figuré ici. Cet arc est pris dans la partie antérieure droite de la couronne.

(2) Il faut lire les figures 30 à 38 dans l'ordre naturel des nombres 30, 31, 32... etc. Elles sont toutes représentées au même grossissement.

Fig. 36. — Le pointement simple P_3, la sortie S'''_g et le pointement en lame mince $P'''_{\delta g}$.

Fig. 55, 57, 58. — Sections transversales d'une même région polaire et de la trace foliaire qu'elle émet à différents niveaux. D'après les préparations du premier échantillon. Gr. 35. — Voir la Planche VII.

Fig. 70. — Section transversale du bois de la trace foliaire lorsqu'elle est encore dans le liber. D'après la préparation inférieure. Gr. 100. — Voir la Planche VIII.

Planche VII.

Fig. 39 à 56 et Figures 55, 57, 58 de la Planche VIII. — Sections transversales successives d'une même région polaire P_1 et de la trace foliaire qu'elle émet S_1 depuis les origines du pôle et de la trace jusqu'au niveau où la trace sort de la couronne libérienne, c'est-à-dire dans l'étendue d'un cycle. D'après les préparations du premier échantillon. Gr. 35.

P_1 La région polaire suivie. P_{1g}, sa branche gauche. P_{1d}, sa branche droite. S_1, la trace foliaire qu'il émet. $P_1 + 19$, le pôle qui le remplacera à la fin du cycle.

S'_d, Trace foliaire droite du pôle P_1 lorsque celui-ci est à l'état de pointement simple. S'_g, trace foliaire gauche. S'_d, provient d'un pôle P'_d, S'_g d'un pôle P'_g. Le pôle P'_d sera remplacé par le pôle P'^{+XIX}_d et le pôle P'_g par le pôle P'^{+XIX}_g lorsque leur cycle sera terminé.

$P'_{\delta g}$. Pointement en lame mince placé à droite du pôle P_1, lorsque celui-ci est à l'état de pointement simple, $P'_{\delta g}$ est une branche gauche du pôle P'_δ qui a émis la trace foliaire S'_δ. P'_δ sera remplacé à la fin de son cycle par P'^{+XIX}_δ.

La figure 39 correspond au niveau 1. Cette section est représentée grossie et complète dans la fig. 30. Pl. VI. La fig 6, Pl. II montre seulement le pôle.

Les figures 40, 41, 41 (bis) correspondent au niveau 2. Cette section est représentée grossie et complète dans la fig. 34, Pl. VI. La fig. 7 Pl. II, montre seulement la région polaire.

Les figures 42, 43, correspondent au niveau 3. La section indiquée plus spécialement par la fig. 42 est représentée grossie dans la fig. 36, Pl. VI. La trace foliaire S'_d est représentée fig. 37, Pl. IV. La trace foliaire S_1 est en retard, il en est de même de l'état de la région polaire.

Les fig. 44 et 44 (bis) correspondent au niveau 4. La section indiquée par la fig. 44 bis est représentée grossie fig. 10, Pl. II. La forme

de la trace S'_g est alors représentée par celle de S'_δ sur la fig. 31, Pl. VI. Celle de la trace S'_d est représentée par celle de la trace S^{1-2} de la fig. 32, Pl. V.

La figure 45 correspond au niveau 5. Cette section est figurée grossie fig. 59. Pl. IX. Cette dernière section représente plutôt la base du niveau 5. Elle est en retard sur l'état moyen indiqué par la fig. 45.

Les fig. 46, 46 bis, correspondent au niveau 6. Cette section est représentée grossie fig. 60. Pl. IX. Voir la forme de la trace foliaire S'_g sur la fig. 34 Pl. VI. en S'_d.

Dans les figures 47 à 58, les pièces de la partie gauche des figures sont un peu en avance sur l'état moyen décrit dans le texte.

Les figures 47 et 48 correspondent au niveau 7 (niveau 6 + 1). Cette région n'a pas été représentée plus fortement grossie. La fig. 49 correspond au niveau 8 (niveau 6 + 2). Cette section est représentée grossie fig. 61. Pl. IX.

Les figures 50 et 51 correspondent au niveau 9 (niveau 6 + 3). Cette section est représentée grossie fig. 62. Pl. IX.

La fig. 52 correspond aux niveaux 10 et 11 (niv. 6 + 4 et niv. 6 + 5). Cette section est représentée grossie fig. 63, Pl. IX.

La figure 53 correspond au niveau 14 (niv. 12 + 2). Cette section est représentée grossie fig. 64. Pl. IX.

Les figures 55, 56 correspondent aux niveaux 15 et 16 (niv. 12 + 3 et niv. 12 + 4). Ces sections sont représentées grossies fig. 32, Pl. V.

Les figures 57 et 58 correspondent aux niveaux 17 et 18 (niv. 12 + 5 et niv. 12 + 6). Ces sections sont représentées grossies dans la figure 35. Voir l'état de la pièce S_1 dans la figure 38 Pl. IV.

Planche VIII

Fig. 68 à 80. — Sections transversales de la trace foliaire à différents niveaux.

Fig. 68. — La trace foliaire prise dans le liber au niveau 9 (niv. 6 + 3). D'après la préparation moyenne. Gr. 55.

Fig. 69. — La trace foliaire aux niveaux 10 et 11. Mêmes indications.

Fig. 70. Pl. VII. — Une autre trace prise dans la même région. Les laticifères sont beaucoup plus gros. D'après la préparation inférieure. Gr. 100.

Fig. 71. Pl. IX. — La trace foliaire au niveau 14. — D'après la préparation supérieure. Gr. 55.

Fig. 72. — La trace foliaire aux niveaux 17, 18, c'est-à-dire quand elle va quitter le liber. D'après la préparation supérieure. Gr. 55.

Fig. 73. — La trace foliaire dans la partie interne de l'écorce interne. D'après la préparation supérieure. Gr. 55.

Fig. 74. — La trace foliaire dans la partie moyenne de l'écorce interne. D'après la préparation inférieure. Gr. 55.

Fig. 75. — La trace foliaire dans la périphérie de l'écorce interne. D'après la préparation moyenne. Gr. 55. — La gaine casparyenne est bien conservée à la partie interne. On voit des traces de liber.

Fig. 76. — Petite portion du liber de la trace foliaire, prise sur la même préparation dans une trace voisine de celle qui a fourni la figure 75.

Fig. 77. — La trace foliaire dans la région profonde de l'écorce moyenne. D'après la préparation inférieure. Gr. 55.

Fig. 78. — La trace foliaire dans la région profonde de l'écorce moyenne, mais un peu moins externe que dans la fig. 77. D'après la préparation inférieure. Gr. 55.

Fig. 79. — La même trace foliaire sur la préparation moyenne. Elle est alors un peu plus externe que dans la fig. 77.

Fig. 80. — La trace foliaire quand elle entre dans la région périphérique de l'écorce moyenne. D'après la préparation de M. Hovelacque. Gr. 55.

Planche IX.

Fig. 59. — Section transversale d'une région polaire au niveau 5. D'après la préparation supérieure. Gr. 55.

Fig. 60. — Section transversale d'une région polaire au niveau 6. D'après la préparation moyenne. Gr. 55.

Fig. 61. — Section transversale d'une région polaire au niveau 8. D'après la préparation moyenne Gr. 55.

Fig. 62. — Section transversale d'une région polaire au niveau 9. D'après la préparation inférieure. Gr. 55.

Fig. 63. — Section transversale d'une région polaire aux niveaux 10 et 11. D'après la préparation inférieure. Gr. 55.

Fig. 65. — Section transversale d'une région polaire au moment où le pôle s'ouvre et émet la trace foliaire. L'amylome est conservé. D'après la préparation inférieure. Gr. 55.

Fig. 71. — Voir Pl. VIII.

Planche X.

Fig. 64. — Section transversale de la trace foliaire au niveau 14.

Fig. 66. — Section transversale d'une région polaire au moment où le

pôle s'ouvre et émet la trace foliaire. D'après la préparation supérieure. Gr. 55.

Fig. 67. — Section transversale d'une trace foliaire encore adhérente à la couronne vasculaire et les éléments libériens qui l'avoisinent. D'après la préparation moyenne. Gr. 55.

Fig. 81. — Un arc de la couronne ligneuse primaire comprenant quatre séries de régions polaires. D'après la préparation supérieure. Région droite. Gr. 12.

Fig. 82. — Un arc de la couronne ligneuse primaire, comprenant cinq séries de régions polaires. D'après la préparation de M. Hovelacque. Région postérieure gauche. Cette figure se raccorde avec la fig. 27 Pl. VI sur le pointement double $\left(P'_{gg} + P^{XIX}_{\delta d}\right)$. Gr. 12.

Fig. 5

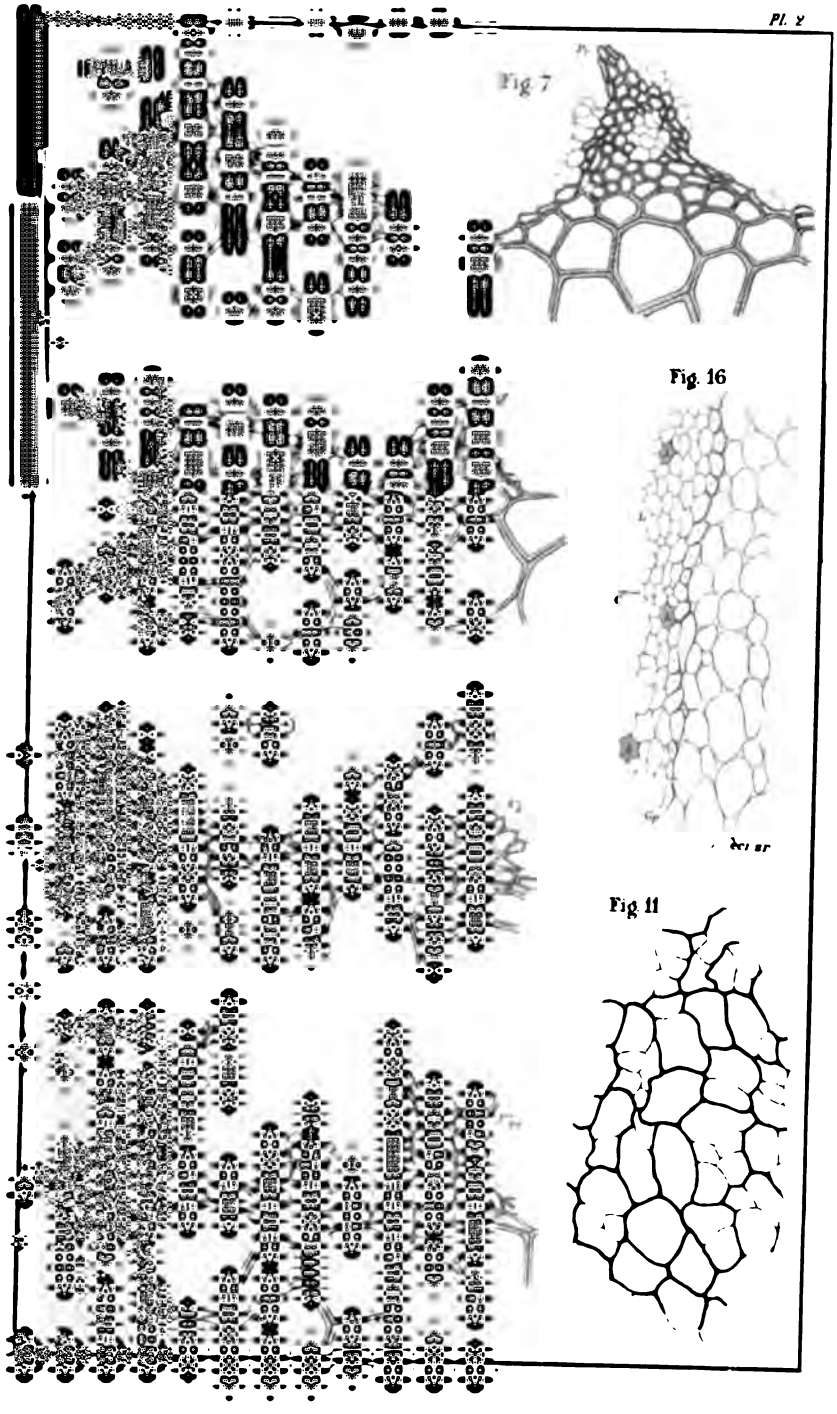
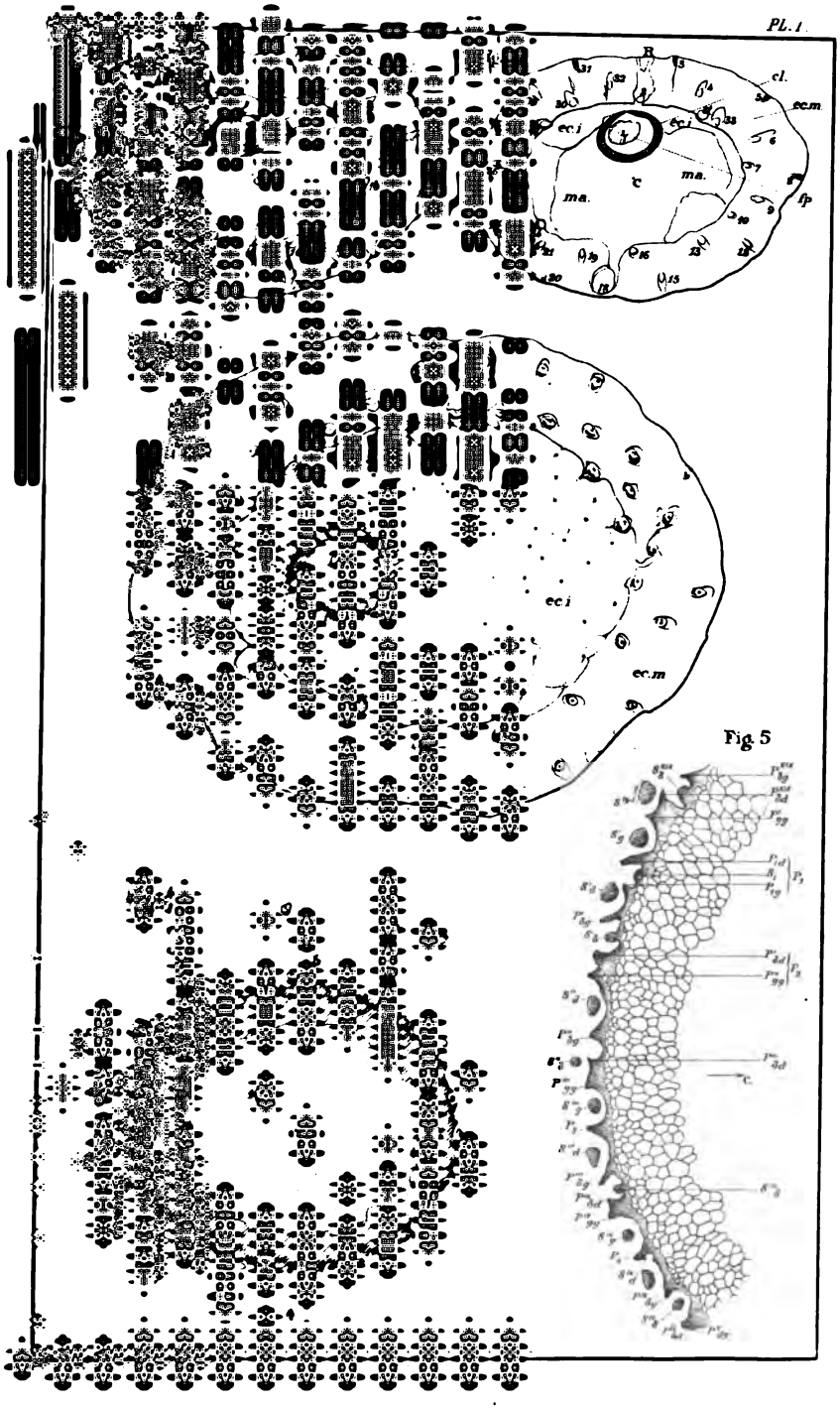


Fig. 7
Fig. 16
Fig. 11


cl.
ec.m
ec.i
ec.i
ma.
ma.
c
fp
ec.i
ec.m
Fig. 5

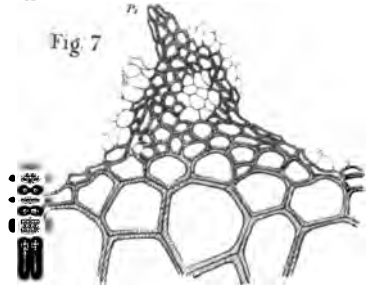


Fig. 7

Fig. 16

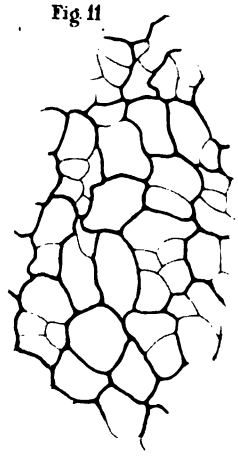


Fig. 11

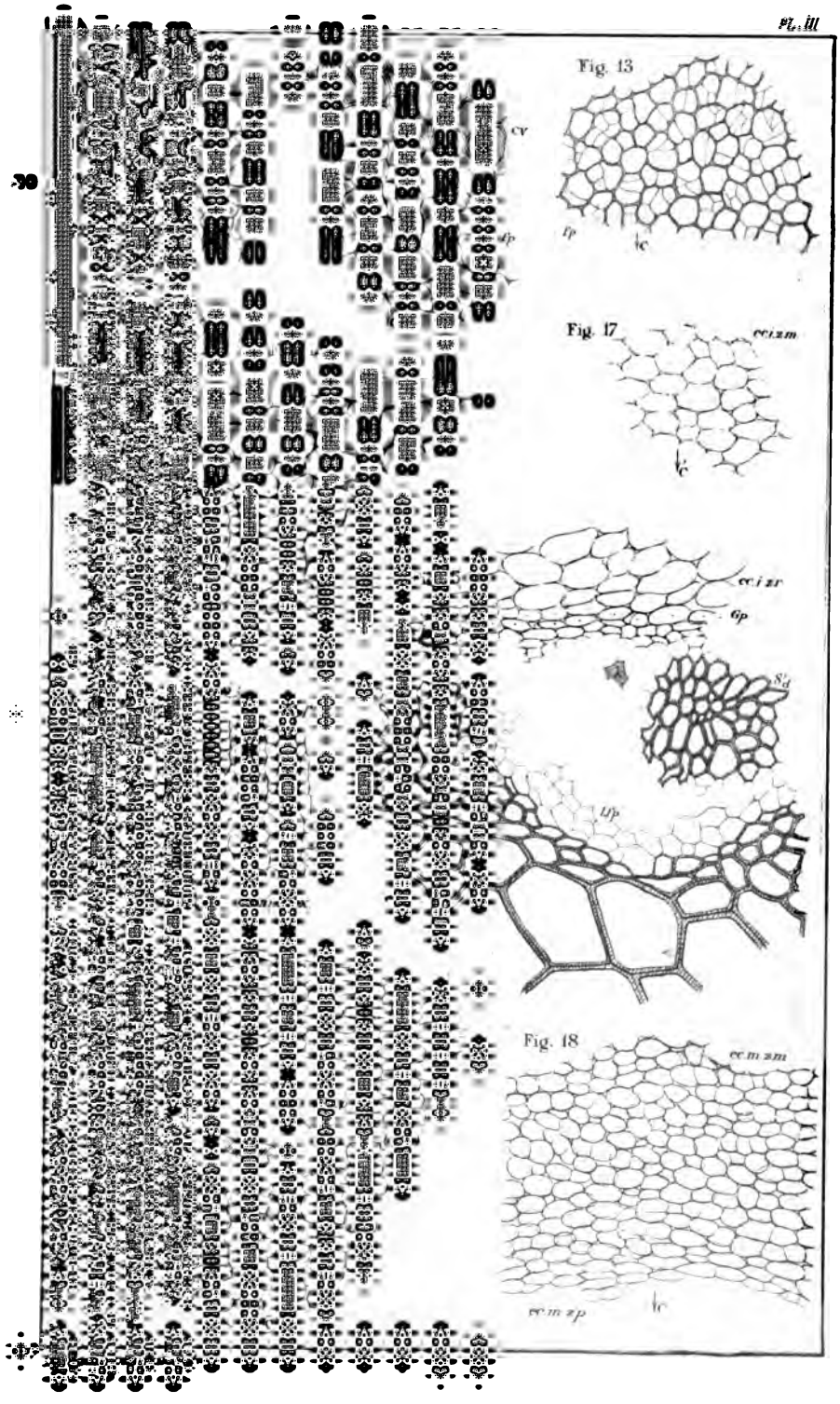


Fig. 13
cv
dp
fp
lc
Fig. 17
cc i zm
lc
cc i zr
6p
Sd
Dp
Fig. 18
cc m zm
cc m zp
lc

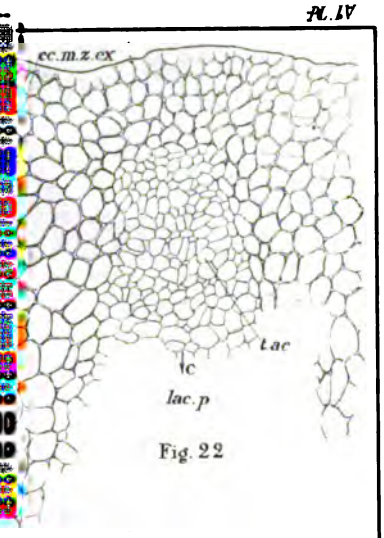


Fig. 22

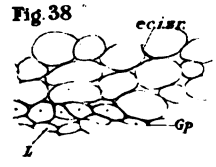
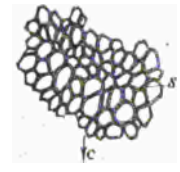


Fig. 38



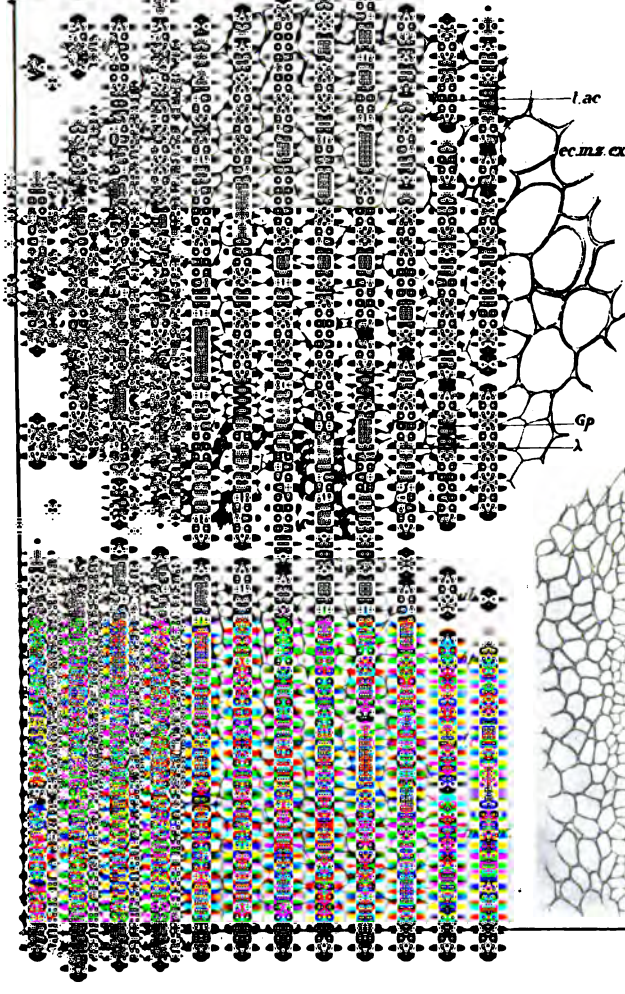


Fig. 23

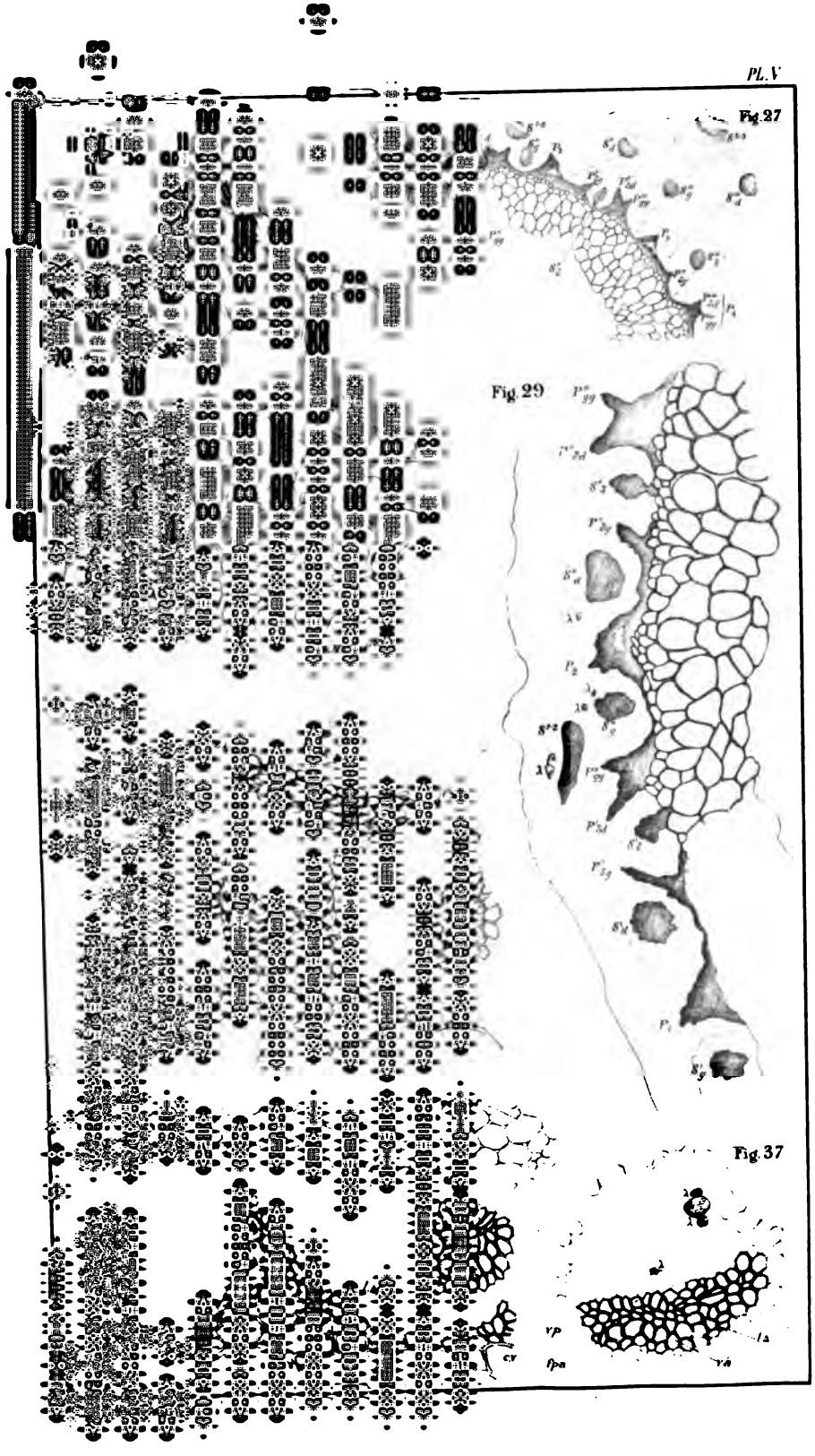


Fig. 27
Fig. 29
Fig. 37

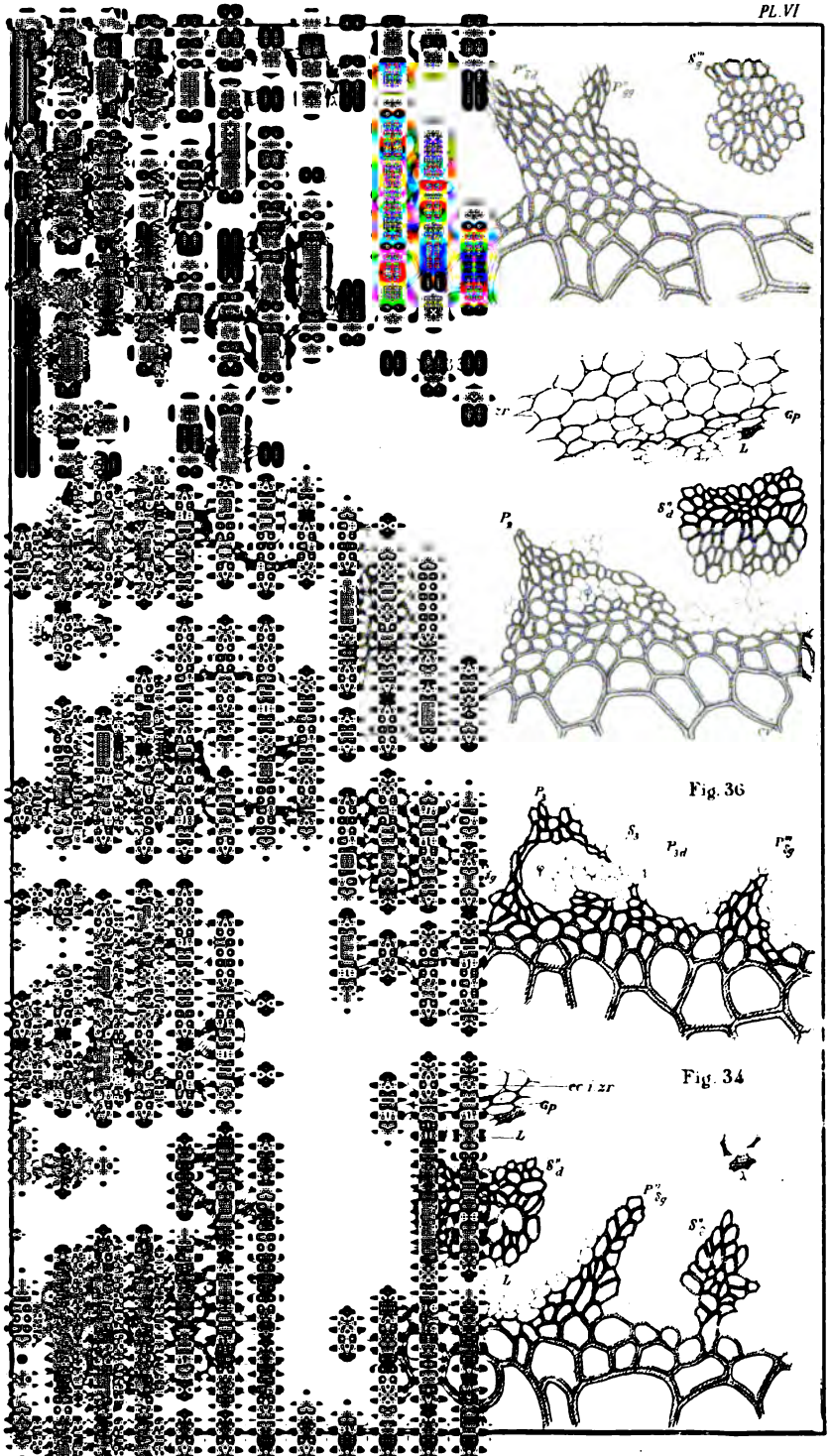


Fig. 36
Fig. 34
Gp
L
cc i zr

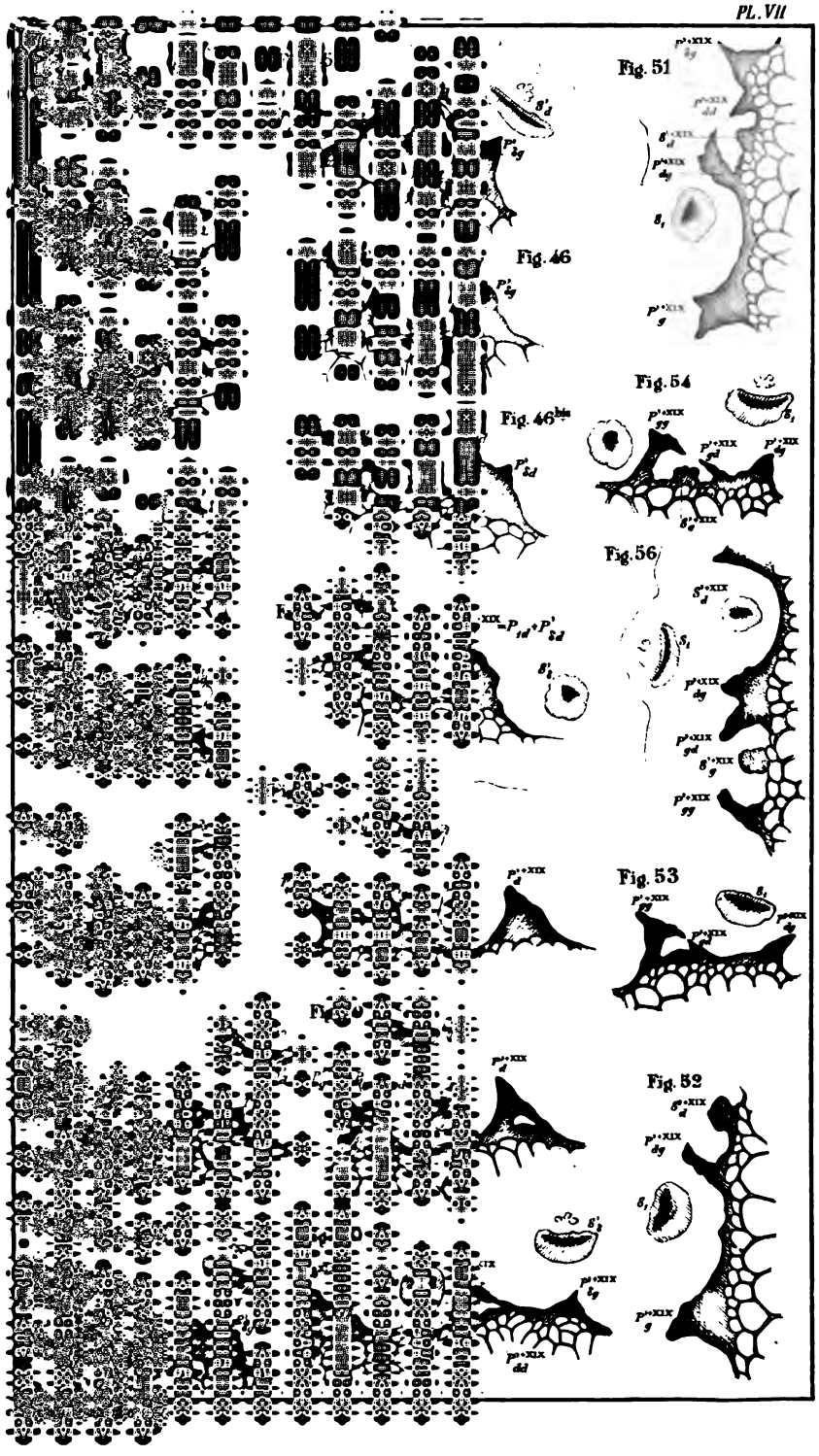


Fig. 51
Fig. 46
Fig. 54
Fig. 46bis
Fig. 56
Fig. 53
Fig. 52

Fig. 73

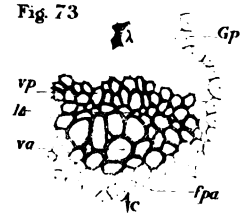


Fig. 75

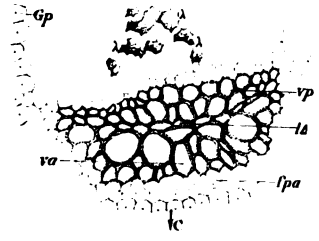
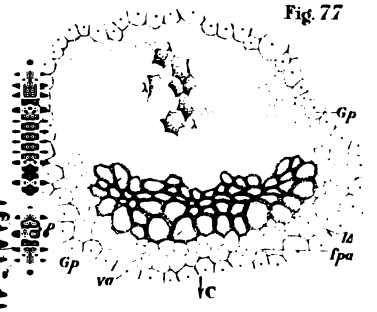
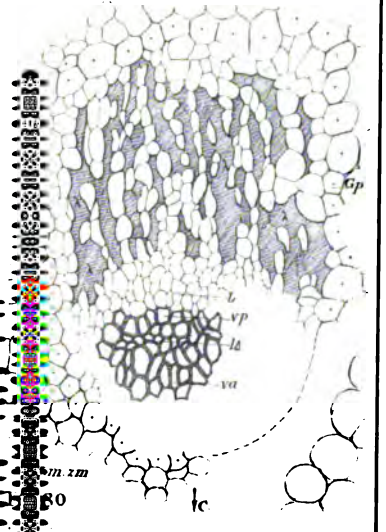


Fig. 77





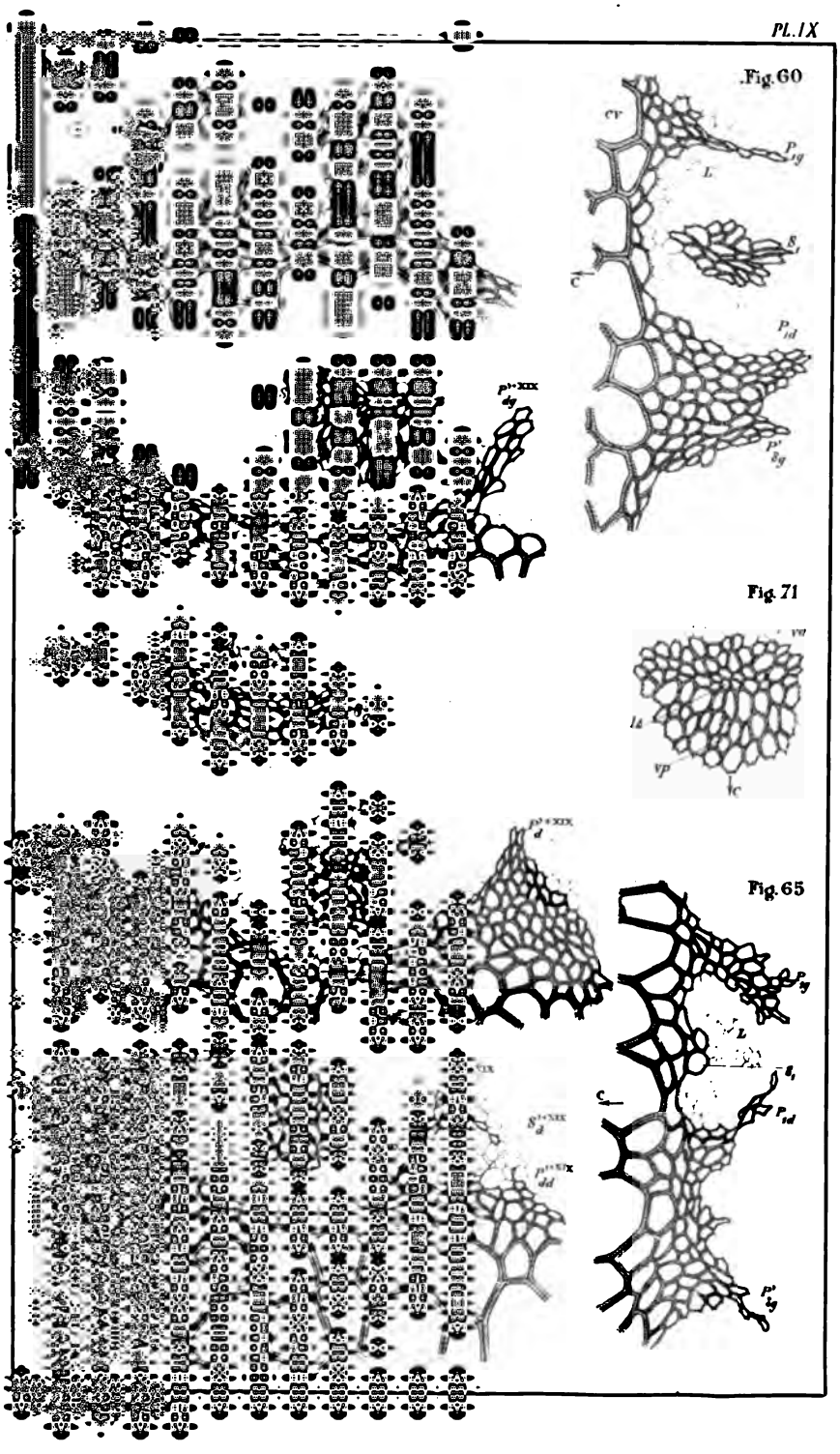


Fig. 60
Fig. 71
Fig. 65

Fig. 67

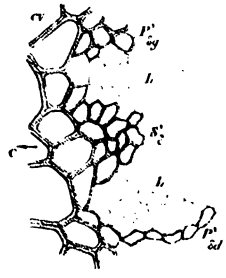
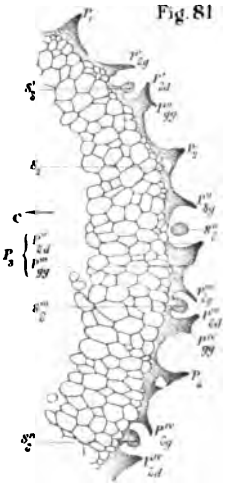


Fig. 81



ACULTÉS DE LILLE

RUS

n des fonctions V (x, y, z).
Prix. . . 1 fr. 75

iamagnétiques.
Prix. . . 3 fr. 50

a chanoine Benoit — ETUDE
BIBLIOTHÈQUE DE CAMBRAI
n phototypie sur papier de
Prix. . . 3 fr. 50

illes (Analyse et falsifications
Prix. . . 4 fr.

uité de l'état liquide et de
Prix. . . 7 fr.

sur le Lépidodendron Hart-
nches). Prix. . . 10 fr.

ON :
organes génitaux urinaires.

ALLE (1re ET 2e ANNÉES).

7

LSoc 163 . 10

UNIVERSITÉ DE FRANCE

TRAVAUX & MÉMOIRES

DES

FACULTÉS DE LILLE

TOME II. — MÉMOIRE N° 7.

Etienne BARTIN. — ÉTUDES SUR LE RÉGIME DOTAL.

LILLE

AU SIÈGE DES FACULTÉS, PLACE PHILIPPE-LEBON

1892

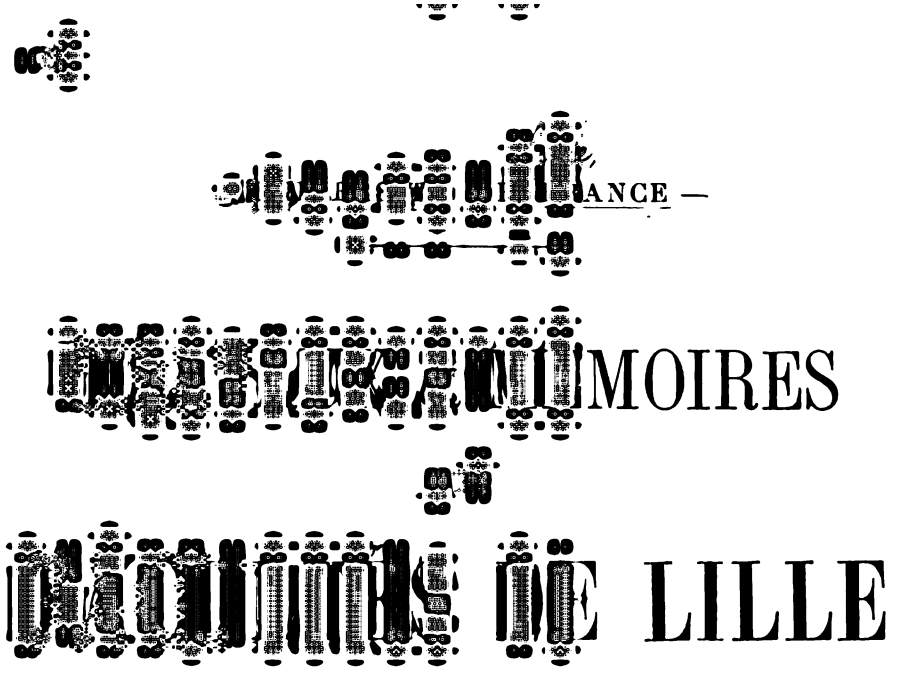
EN VENTE

à LILLE, à La Librairie Générale, rue Faidherbe, 11 et 13.

à PARIS, chez : Gauthier-Villars et Fils, 55, quai des Gds-Augustins.

— Alph. Picard, rue Bonaparte, 82.

— à La Librairie du Recueil Général des Lois et des Arrêts. — L. Larose et Forcel, éditeurs, 22, rue Soufflot.



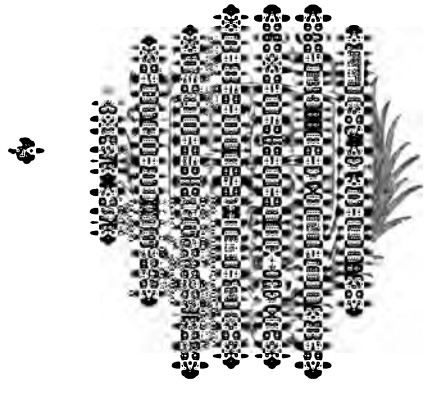
— ANCE —

MOIRES

LILLE

TOME I. — N° 7.

LE RÉGIME DOTAL.



PHILIPPE-LEBON

~~122/70~~
LSoc 16

HARVARD COLLEGE
LIBRARY.
The University

Le Conseil Général des Facultés de Lille a ordonné l'impression de ce mémoire, le 2 Janvier 1892.

L'impression a été achevée, chez Le Bigot Frères, *le 25 Mars 1892.*

[illegible] RÉGIME DOTAL

[illegible] DE

[illegible] contre les tiers et par [illegible] occasion de la dot.

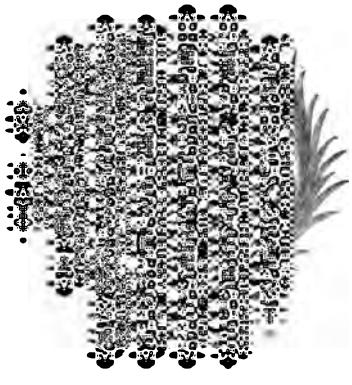
PAR

[illegible] JIN

[illegible] FACULTÉ DE DROIT

[illegible] ACULTÉS DE LILLE

[illegible] N° 7.



[illegible] PHILIPPE-LEBON

835/41

PRÉFACE

I. — L'Académie des Sciences morales et Politiques avait mis au concours en 1887, pour 1891, la question suivante :

« Exposer le développement du Régime Dotal, en France, depuis le Code Civil jusqu'à nos jours. »

Le programme annexé au sujet invitait particulièrement les concurrents à « étudier aussi complètement que possible l'œuvre de la jurisprudence, à rechercher comment elle a interprété, appliqué, complété le Code Civil. »

Ce travail est un premier fragment du mémoire que j'espérais soumettre au jugement de l'Académie. — En octobre 1889, la lourde charge d'un enseignement nouveau m'ayant privé des loisirs qui m'eussent été nécessaires pour achever une rédaction à peine commencée, j'ai dû renoncer à mon dessein. Je ne puis y revenir aujourd'hui que pour publier, sous la forme très modeste de dissertations séparées, les chapitres achevés de mon ancien plan. Peut-être me sera-t-il permis un jour de pousser plus avant, et de reprendre, sous la même forme, la rédaction de mon travail, au moins pour les questions que les arrêts m'ont amené à considérer comme les plus intéressantes et les moins connues.

[illegible] de l'Etude qu'on va lire, [illegible] la méthode que j'ai suivie [illegible]

[illegible] d'écrire un traité du régime [illegible] mais, au contraire, une [illegible] depuis le Code Civil.

[illegible] qu'un semblable dessein [illegible] nt que nouveau. Le système [illegible] nous vivons, semble, en [illegible] est clair qu'une institu- [illegible] stoire qu'autant qu'elle est [illegible] difier, ou, comme on dit [illegible] olution des institutions, les [illegible] ivent subir pour s'adapter [illegible] veaux, ne se comprennent [illegible] coutumière. Rien de pareil [illegible] ces institutions ont passé [illegible] tion. La Codification en fixe [illegible] arêtes vives, qui ne doi- [illegible] mousser. Dès lors, sous un [illegible] s variations d'une institu- [illegible] l'histoire des tâtonnements [illegible] il est préférable, à tous [illegible] avec le temps.

[illegible] ait vrai que la Codification [illegible] is fermement convaincu du [illegible] re de justifier mon senti- [illegible] qu'on aperçoive bien le [illegible] à mon travail. Il se lie,

par la force des choses, à une conception particulière de la Codification. Le concevoir et l'écrire dans l'esprit que j'indique, c'est poser, et poser nécessairement, la question même de la nature de la Codification.

III. — Cette question, que n'épuiserait pas un gros livre, je ne puis y toucher que sommairement dans une préface.

La loi positive commande : elle n'enseigne pas. C'est une œuvre de législation, au sens étroit du mot, et non pas une œuvre de science. — Par conséquent, ce qui constitue la Codification, ce sont les injonctions précises du législateur sur les points qu'il considérait comme essentiels, à l'époque où il a disposé, pour chacune des institutions qu'il a sanctionnées. C'est cela, et rien de plus.

Il est bien vrai que la réunion même de ces injonctions nous permet déjà de nous faire une idée de l'institution qu'elles concernent. Nous pouvons nous représenter cette institution par les principaux traits de sa physionomie, tels que la loi elle-même les a dessinés. En ce sens on peut dire que tout ensemble de dispositions légales implique par soi-même une certaine conception de l'institution que ces dispositions régissent. — Mais cette représentation et cette conception sont le produit d'un travail de l'esprit sur cet ensemble de dispositions légales, qui, seules, constituent l'œuvre du législateur, et qui, seules, peuvent s'imposer aux tribunaux en cette qualité.

Par conséquent, les tribunaux restent maîtres de l'esprit de l'institution. Ils sont vraiment législateurs en ce qui la concerne. Ce sont eux qui le déterminent, qui le maintiennent, et qui, s'il y a lieu, le modifient, pour satisfaire aux besoins

toujours nouveaux de la vie juridique. — Ce qui ne doit pas changer, ce qui doit rester immuable dans cette évolution sans fin, ce sont seulement les dispositions légales, qui statuent sur les points que les auteurs de la Codification considéraient comme essentiels, dispositions auxquelles tout se rattache, et que toute jurisprudence doit respecter. — Mais ces dispositions peuvent s'adapter aux conceptions les plus diverses, parfois les plus opposées : elles s'y adapteront successivement, et rempliront toujours le même rôle, dans les milieux les plus dissemblables. — Ce sont les blocs de pierre, enfoncés profondément dans le sol, qui marquent, de distance en distance, les saillants de l'édifice à venir, et sur lesquels doivent s'appuyer ses murs, quelque soit la direction qu'on leur donne dans les intervalles.

Si cette préface était autre chose qu'une préface, j'aurais à indiquer ici, et à classer, les procédés principaux que la jurisprudence emploie pour ajuster à ces points fixes et à ces dispositions légales immuables sa conception personnelle et mobile de chaque institution. C'est de ce côté justement qu'il faudrait multiplier les recherches et fouiller un sol exceptionnellement riche pour arriver, sans phrases et par les faits, à une conception vraiment scientifique de la Codification.

Il est donc faux que la Codification arrête l'évolution du droit. — Il y a sûrement une différence entre le droit coutumier et le droit codifié : mais cette différence ne tient pas à la plasticité du premier opposée à la fixité du second. L'évolution du droit est un phénomène universel, dont les conditions et les caractères varient seulement, suivant qu'elle se produit sous un régime de Codification ou en dehors de la

Codification. Dans l'un ou l'autre cas, on peut dire, et on a dit avec raison, que le juge ne borne pas son rôle à celui d'un pur interprète : il « participe » réellement à la confection de la loi civile (1).

Dans ces conditions, il y a une histoire possible de la jurisprudence et des institutions qu'elle fait mouvoir. Voilà l'idée fondamentale qui avait inspiré le travail dont je publie aujourd'hui un premier fragment. J'espérais établir la justesse de cette idée par l'étude serrée d'un exemple bien choisi. Une conception comme celle que je viens d'indiquer ne vaut que par l'emploi qu'on en fait : on la saisit difficilement sous sa forme abstraite : on ne peut la défendre avec succès qu'après qu'elle a pris corps dans l'histoire minutieuse d'une institution particulière.

Mon travail, en un mot, devait constituer moins une monographie indépendante, qu'une observation sur le vif à l'appui d'une conception particulière de la Codification : et cette observation, c'est le régime dotal qui devait m'en fournir la matière et le champ.

IV. — Nul exemple n'était préférable à celui-là. Des questions que les rédacteurs du Code n'ont pu considérer comme essentielles, puisqu'ils ne les ont pas formellement résolues, ont pris, en effet, une telle importance après eux, que les tribunaux ont vraiment légiféré quand ils ont dû les résoudre.

Quels sont les rapports du régime dotal et des différents régimes de communauté? Jusqu'à quel point peut-on com-

(1) Discours de M. l'avocat général Bertrand, à l'audience de rentrée de la Cour de Cassation. Décembre 1887.

pléter les dispositions légales qui concernent le régime dotal, au moyen de celles qui ne concernent que l'état de communauté? — Pareillement, quels sont les rapports des dispositions légales qui déterminent les pouvoirs du mari sous le régime dotal, et de celles qui autorisent l'inaliénabilité dotale? La femme peut-elle les séparer les unes des autres, et stipuler en contrat de mariage l'inaliénabilité dotale, tout en se réservant la libre administration de sa dot, comme si elle était judiciairement séparée de biens? — Quelle est enfin la vraie nature de l'inaliénabilité dotale? Jusqu'à quel point ses conséquences dépendent-elles de son but, et n'est-elle pas plus énergique envers la femme séparée de biens ou la femme qui s'est réservé l'administration de sa dot, qu'à l'égard du mari lorsqu'il administre les biens dotaux?

Voilà des questions essentielles, que le Code ne résout pas, et dont la solution doit influer gravement sur la conception même du régime dotal. — Ces questions, la jurisprudence a dû les résoudre, en s'inspirant, — non pas des précédents historiques, dont l'incertitude et l'insuffisance éclatent, pour peu que l'on compare le régime dotal de l'ancienne France, tel que nos vieux juristes l'avaient élaboré (1), aux dispositions légales que renferme le Code, — mais seulement des besoins de la vie moderne, et des devoirs de famille tels que nous les comprenons.

Je ne puis me dispenser d'indiquer en terminant les tendances de cette jurisprudence, et de marquer, au moins d'un trait, la direction qu'elle a suivie.

(1) Voy. surtout Roussilhe, *Traité de la dot.*

Sous tous les régimes matrimoniaux, mais à des degrés divers, le mari est l'administrateur des biens de la femme. Cela est vrai même du régime de séparation de biens, où cette qualité, si faibles que soient ses conséquences, ne disparaît pas entièrement (1). Cela est vrai même des paraphernaux sous le régime dotal (2).

Il n'y aura donc pas, au point de vue de l'administration proprement dite, un abîme entre le régime de communauté et le régime dotal. Dans l'un et dans l'autre, la femme fait au mari un certain apport, et lui confère, sur les biens que cet apport a pour objet, des pouvoirs d'administration très étendus. Cet apport, ce sont ici les biens dotaux, ce sont là les biens communs (3). Le titre du mari à gérer les uns et les autres tend partout au même but, qui est de satisfaire aux intérêts du ménage, intérêts temporaires comme le ménage lui-même. — Les biens communs et les biens dotaux jouent le même rôle, et servent à la même fin : le mari, comme chef du ménage, doit avoir en mains des moyens d'action; ces moyens d'action lui sont fournis par l'apport de la femme, qu'il s'agisse de biens communs ou de biens dotaux. C'est pourquoi on ne se fera pas scrupule de les traiter ordinairement de la même façon les uns et les autres, quant aux actes d'administration proprement dite, que le mari peut se permettre sur eux (4).

(1) Art. 1450, et Lyon 25 janvier 1860, Sirey, 1860, II, 240.

(2) Extension de l'art. 1450 au régime dotal. — Art. 1578. — Et note de la page 5 *infrà*.

(3) Plus exactement, la part de la femme dans les biens communs.

(4) Je rappelle, à titre d'exemple, la doctrine célèbre de la validité de l'aliénation des créances dotales par le mari. C'est aux créances de la femme qui tombent en communauté qu'il faut comparer les créances dotales, et non pas aux créances qui lui restent propres sous le régime de communauté. Je le montrerai dans ma prochaine étude.

Il reste toutefois une différence irréductible entre le régime dotal et l'état de communauté. — Dans l'un et l'autre cas, le mari est le chef du ménage : dans l'un et l'autre cas, l'apport de la femme doit servir aux intérêts du ménage. Mais, tandis que sous le régime dotal, la femme n'entend courir sur son apport aucun risque, en dehors de ceux que font naître, par la force des choses, l'administration de son mari et l'intérêt même du ménage, elle s'associe au contraire, sous le régime de communauté, aux spéculations de son mari, et en accepte sur son apport les conséquences éventuelles. — Lors donc que les dispositions du régime de communauté relatives aux biens communs seront de nature à rendre aléatoire pour les époux l'administration des biens dotaux, la jurisprudence écartera ces dispositions du régime dotal, et appliquera aux biens dotaux les règles faites pour les propres (1).

Sous le bénéfice de cette réserve capitale, et de cette différence essentielle entre les deux cas, la jurisprudence empruntera peu à peu aux régimes les plus opposés leurs dispositions diverses, pour en arriver insensiblement à concevoir et presque à dégager de tout cela une théorie générale de l'administration du mari comme chef du ménage sous tous les régimes. — Cette administration comportera, suivant les différents régimes, des pouvoirs plus ou moins étendus, et une responsabilité plus ou moins lourde : elle atteindra son *maximum* d'intensité sur les biens communs, et se réduira à son *minimum* sur les paraphernaux, mais elle sera, au fond, de même nature dans tous cas, et cette généralisation du système de l'administration mari-

(1) Art. 818, 2208.— Voy. *infrà*, p. 99 et 130.

tale sera le complément et le contrefort du système général de l'autorisation maritale, nécessaire en effet à la femme sous tous les régimes.

Faisons maintenant un pas de plus. — Les textes relatifs aux pouvoirs du mari sous le régime dotal s'étant trouvés rapprochés dans les arrêts de ceux qui déterminent les pouvoirs du mari sous le régime de la communauté, le lien qui les unissait aux dispositions légales relatives à l'inaliénabilité dotale s'est insensiblement relâché. Le système du régime dotal, tel que nous le présentent les textes du Code, s'est peu à peu désagrégé. Ses deux pièces essentielles — pouvoirs du mari sur les biens dotaux, inaliénabilité des mêmes biens, — se sont séparées l'une de l'autre. On en arrive à concevoir une inaliénabilité dotale indépendante des prérogatives et des pouvoirs du mari sur les biens dotaux. De très bonne heure, l'inaliénabilité dotale fait son apparition sur les paraphernaux (1). Cette doctrine hardie, tout à fait assise aujourd'hui en jurisprudence (2), a pour cause la confusion, déjà ancienne dans les arrêts, des textes relatifs aux pouvoirs du mari sous tous les régimes. L'administration maritale est une chose, et l'inaliénabilité en est une autre.

Qu'est-elle donc elle-même, cette inaliénabilité ? Elle n'est ni une incapacité de la femme, ni une inaliénabilité proprement dite de l'immeuble. Ce sont de trop vieilles étiquettes pour un produit nouveau.

La jurisprudence a construit le système de l'administration maritale en se préoccupant moins des principes tra-

(1) Cass., 2 mars 1837, Sirey, 1837, I. 193.
(2) Cass., 17 février 1886, Sirey, 1886, I. 161.

ditionnels que des besoins de la vie journalière. Pareillement, elle construira le système de l'inaliénabilité dotale sans passer par les voies anciennes. Derrière les intérêts temporaires du ménage, auxquels vient de donner satisfaction sous tous les régimes, le système de l'administration du mari, il y a les intérêts permanents de la famille. Les intérêts du ménage et ceux de la famille ne se confondent pas. Les uns concernent la société conjugale et les personnes que cette société réunit : les autres concernent la famille, considérée dans la série indéfinie des générations qui la composent. Les premiers sont passagers comme l'est elle-même la société conjugale, si on la compare à l'être moral qu'elle perpétue dans le temps : les autres sont permanents au même titre que la famille, ils existent dès avant que soient nés ceux qui doivent la continuer, ils se prolongent après eux comme l'être moral auquel ils se rattachent. Si donc il y a dans la société conjugale une institution qui assure, sous tous les régimes matrimoniaux, la satisfaction des intérêts de cette société, il y aura pareillement, sous tous les régimes, une institution qui assurera, au gré des époux, la satisfaction des intérêts plus généraux et plus élevés de la famille. Cette institution, c'est le *patrimoine dotal.*

La femme aura un double patrimoine. Son patrimoine se divisera en deux parts, qui formeront le patrimoine paraphernal et le patrimoine dotal. Celui-ci, véritable *universitas juris*, sera soumis, sauf à l'égard des tiers *penitus extranei* (1), à des règles propres, qui ont pour objet sa conservation et

(1) Allusion au système de la poursuite de la réparation du délit civil de la femme sur les biens dotaux.

parfois son emploi (1) dans l'intérêt de la famille. D'innombrables conséquences découleront de cette formule, et tiendront l'inaliénabilité dotale à égale distance du système de l'incapacité de la femme et du système de l'inaliénabilité des biens.

Pourquoi faudra-t-il que la jurisprudence compromette cette conception féconde et originale, en permettant au mari de faire entrer, lui aussi, ses biens dans ce patrimoine dotal, qui, évidemment, ne peut jamais appartenir qu'à la femme? — Solution malheureuse et incontestablement erronée d'un arrêt de Cassation du 30 novembre 1886 (2), qui serait absolument inexplicable dans le système de l'incapacité de la femme comme dans celui de l'inaliénabilité des biens, et qui ne se comprend que trop, au contraire, dans le système de la jurisprudence dont il n'est que l'exagération.

Quoi qu'il en soit, le patrimoine dotal est constitué dans l'intérêt collectif de la famille : c'est là vraiment le trait caractéristique de l'institution.

Et de là résulte une différence profonde entre le système français de la dotalité et le système américain du *homestead*, auquel on l'a comparé.

Le système du *homestead* est fait avant tout pour le ménage malheureux, dont les spéculations n'ont pas réussi, « qui a

(1) Art. 1558, et les décisions suivantes : — 1° Cass. 5 nov. 1855, Sirey, 1856, I. 204. — Caen 22 nov. 1865, *Revue du Notariat*, 1866, pag. 783. — Cass. 17 juillet 1884, et 28 août 1884, Sirey, 1885, I. 87. — 2° Nîmes, 11 janvier 1878, Sirey, 1879, II. 182. — Montpellier, 2 mars 1858, Sirey, 1859, II, 30, comparé à Caen, 28 mars 1881, Sirey, 1882, II. 81. — 3° Pau, 18 mai 1863, Sirey, 1864, II, 139.

(2) Sirey, 1887. I. 401.—Balzac, qui s'intitulait lui-même *docteur ès sciences sociales*, a indiqué le procédé. (Voir *Le Cousin Pons*, dans ses *Œuvres complètes*, Edition in-8° de Lévy, X, 474 et 480).

succombé dans la lutte, et qui a besoin de refaire ses forces avant d'entreprendre de nouvelles opérations (1). » — La détermination de son objet, les conditions de son maintien, les conséquences qu'il entraîne, tout cela dépend de cette idée fondamentale. — Il a nécessairement pour objet un immeuble, un immeuble d'une valeur ou d'une superficie limitée, un immeuble comprenant une maison d'habitation. — Ce refuge du colon malheureux n'est soustrait à la poursuite des créanciers du colon que si celui-ci vient y résider effectivement. Ce n'est pas la fortune du colon qu'on défend contre lui, c'est son repos qu'on défend contr'eux. — Cela est si vrai que la conséquence essentielle du *homestead* est l'insaisissabilité, mais non pas l'inaliénabilité de l'immeuble. C'est une institution civile de colonisation, fruit naturel d'un pays où toutes les institutions, les institutions politiques elles-mêmes (2), convergent vers le même but.

Tout autre est le système du patrimoine dotal. Il a été construit en vue de la famille, et non point en vue du ménage. Ce n'est pas une institution faite pour un pays neuf, mais pour un pays de vieille civilisation. Il a pour objet de maintenir la famille à son rang et dans son milieu, et d'éviter, dans une société agitée, le déclassement trop facile et d'autant plus dangereux de ses membres. Parfois encore il peut offrir au chef de famille le moyen de jouer une dernière partie dans l'intérêt commun, ou encore de sauver, par un sacri-

(1) Communication de M. de Loynes à la Société d'Economie sociale, dans la *Réforme Sociale*, n° du 1er Décembre 1891 (tome XXII de la collection, pag. 789).

(2) Voy. un trait curieux de ces idées américaines dans Boutmy, *Etudes de droit constitutionnel*, 1885, pag. 205 et 206.

fice, l'honneur du nom. Rien ne s'adapte mieux à cette conception de l'institution que le système original et hardi du patrimoine dotal, qui est la création propre de la jurisprudence, et le point central autour duquel se réunissent toutes les autres.

PREMIÈRE ÉTUDE

Des actions dirigées par le mari contre les tiers et par les tiers contre le mari à l'occasion de la dot.

L'étude de l'exercice des actions dotales par le mari, étude à laquelle doit se joindre celle des actions dirigées contre lui par les tiers à l'occasion de la dot, forme l'objet de cette première dissertation. Si je m'occupe d'abord de ce qui paraît être la sanction ou la conséquence du droit de jouissance du mari, avant d'avoir fixé, comme on le fait ordinairement, la physionomie de ce droit de jouissance, la raison en est que cette représentation de la femme par le mari se détache avec un puissant relief sur le fond du tableau des droits du mari ; c'est le trait le plus original de sa condition juridique, et celui qui frappe les yeux avant tous les autres. — La jurisprudence ayant d'ailleurs maintenu avec soin dans cet ordre d'idées les solutions du Code, sauf en ce qui concerne le régime du partage des biens dotaux, où se marque déjà fortement son esprit d'innovation, nous nous trouvons sur un terrain solide, et c'est un avantage pour nous de commencer une si longue route par un côté sûr, et facile à explorer.

Il est essentiel de dégager tout de suite une idée générale qui est commune à la jurisprudence et au Code, parce qu'elle résulte de la nature des choses. Les actions conférées au mari

par la constitution dotale varient avec la nature des biens compris dans cette constitution. S'agit-il d'une constitution dotale en argent, le mari en réclamera le payement, ou revendiquera les biens qui lui ont été donnés pour en tenir lieu. S'agit-il de meubles non estimés, toutes actions tendant à en recouvrer l'usage ou à en réaliser la valeur se fixeront en sa personne. S'agit-il enfin d'immeubles dotaux, il intentera seul les actions possessoires et pétitoires qui les concernent, à supposer même que sur elles vienne se greffer une action en nullité de l'aliénation de ces immeubles. Tels sont les points de vue divers auxquels nous devons successivement nous arrêter. Nous aurons ensuite à étudier de près l'exception très importante qu'ont apportée les tribunaux à des pouvoirs dont le domaine paraît si vaste.

CHAPITRE I

De l'action en paiement de la constitution de dot

I

Occupons-nous d'abord du cas le plus simple. — Une somme d'argent a été constituée en dot : le mari en est créancier, sauf à répondre sur ses biens de la restitution de cette somme à sa femme, à l'époque où ses pouvoirs cesseront.

Dans ses termes généraux, cette formule est d'une incontestable justesse. Mais si l'on en veut suivre jusqu'au bout l'application pratique, on rencontre immédiatement dans la jurisprudence des traces déjà anciennes d'une idée qui lui est chère, et qu'il est bien remarquable qu'elle ait appliquée à l'hypothèse qui nous occupe. — Les droits du mari sur les immeubles dotaux se sont progressivement atténués au point de ne plus impliquer à son profit aujourd'hui qu'un large pouvoir d'administration sur ces immeubles. Il semble que la force des choses empêche qu'une évolution semblable ait pu transformer pareillement ses droits sur une constitution dotale en argent : il paraît difficile qu'on ait pu arriver à le priver de sa qualité de créancier, et des avantages qui s'attachent ordinairement à ce titre. La nature même de la dot implique à son profit un droit personnel et incommutable à obtenir le payement d'une somme dont il aura la disposition la plus complète après le paiement. A supposer même qu'on doive réduire, ici encore, ses pouvoirs à ceux d'un pur administrateur,

comment ne pas conférer à l'administrateur d'une créance le droit d'en exiger à tout évènement le montant ?

Reportons-nous maintenant à un arrêt de la cour de Riom, du 11 février 1809 (1), nous verrons que l'atténuation des droits du mari sur la dot s'est produite ici comme ailleurs. Si les Rédacteurs du Code n'ont pu ou n'ont voulu en indiquer les traces, en relevant les hypothèses peu fréquentes où il est permis de les entrevoir, la jurisprudence a réparé de bonne heure cette omission involontaire ou calculée.

Il faut supposer que la somme constituée en dot à la femme n'a point encore été payée au décès du constituant dont elle hérite. Le mari pourra-t-il saisir les immeubles héréditaires qui forment son lot, pour se payer de la somme que lui avait constituée le défunt ? Il aurait pu, sans aucun doute, saisir ces immeubles du vivant de celui-ci, et dans ses mains : dès lors, comme les dettes du constituant passent avec son actif à la femme qui lui succède, il semble que le mari pourra poursuivre le paiement de la dot sur les biens qu'elle recueille à titre héréditaire. Peu importe qu'une constitution de tous biens présents et à venir frappe d'inaliénabilité ces immeubles au profit de la femme : ils n'en restent pas moins affectés à l'exécution des obligations du constituant (2) ; il y a d'ailleurs une raison de plus de reconnaître au mari un droit d'exécution sur eux, si ce sont de simples paraphernaux : c'était le cas dans l'espèce que j'analyse (3).

La cour de Riom en a jugé autrement ; le mari est bien créancier de la somme constituée en dot, mais créancier soumis à restitution. « Il serait inconvenant qu'il fît vendre les biens

(1) Sirey, 1809-1811, II, 22.
(2) Art. 1558, 3°.
(3) Ce qui le prouve, c'est que la cour a pu allouer au mari, à titre d'intérêt légal de la somme promise en dot, des revenus propres à la femme, qui n'en aurait pas conservé, dans l'hypothèse d'une constitution de tous biens présents et à venir.

de sa femme pour se payer d'une dot dont il n'a que l'usufruit. » Il est tenu à la conservation de ses biens (1). Tout ce qu'il peut réclamer, c'est l'intérêt légal de la somme constituée en dot : tout ce que lui doit la femme à ce titre, c'est « le délaissement d'un usufruit d'immeubles suffisant pour produire cet intérêt. »

Avant d'insister, comme je crois qu'il est utile de le faire, sur le caractère et les conséquences de ce délaissement, je dois indiquer les limites probables de la doctrine qui ressort de l'arrêt de la cour de Riom. A supposer que les tribunaux actuels dussent résoudre de même l'hypothèse déjà ancienne sur laquelle je raisonne, si elle se présentait de nouveau devant eux, il est vraisemblable qu'ils restreindraient beaucoup l'application des formules que j'ai transcrites. C'est qu'il règne aujourd'hui en jurisprudence une doctrine que les tribunaux de 1809 ne connaissaient pas encore, celle de la validité de l'aliénation des créances dotales par le mari. Aujourd'hui, bien qu'ils continuent à le considérer comme un administrateur de la dot, quelque soit l'objet de la constitution dotale, ils admettent que ce titre suffit à lui permettre d'aliéner librement les créances dotales. Si dès lors ils manifestaient de nouveau des tendances analogues à celles dont témoigne l'arrêt de 1809, le mari se le tiendrait pour dit, et ne s'exposerait plus jamais à subir leur légitime résistance : il aliénerait la créance dotale et se débarrasserait ainsi, en la personne du tiers cessionnaire, du soin d'en poursuivre le recouvrement. En un mot, par l'adhésion qu'elle a donnée à la doctrine de la validité de l'aliénation des créances dotales par le mari, la jurisprudence elle-même s'est enlevé le droit de s'inspirer, en principe, de l'arrêt de 1809.

C'est dans le cas seulement où le mari chercherait à se

(1) On voudra bien ne pas oublier qu'il s'agit ici de paraphernaux, à la conservation desquels aucun texte du Code ne dit que le mari soit tenu.

procurer par tous moyens de l'argent, sans offrir des garanties suffisantes de restitution de la dot ainsi payée, que ses poursuites perdraient le caractère nécessairement favorable qu'elles ont aujourd'hui, — et que la jurisprudence actuelle pourrait maintenir et maintiendrait sans doute, comme la suite de ces développements le prouvera, la solution de 1809. Les circonstances dans lesquelles ces poursuites interviendraient, feraient éclater l'intérêt personnel du mari à les entreprendre, et la règle qu'il n'est pas personnellement créancier, même lorsqu'il s'agit d'une constitution dotale en argent, reprendrait alors tout son empire. Que si d'ailleurs il s'avisait encore d'aliéner la créance dotale pour éluder l'obstacle, je ferai observer que la femme retrouverait, dans l'exception qu'apporte la jurisprudence elle-même à la doctrine de la validité de l'aliénation des créances dotales pour le cas de fraude, une garantie analogue au système de l'arrêt de 1809.

On peut répondre à tout cela, il est vrai, et j'ajoute qu'on n'a pas manqué de le faire en 1809 (1), que le mari, tout réduit qu'il est au rôle d'administrateur, doit conserver à tout événement le droit d'exiger le paiement de la somme constituée. Sans invoquer à l'appui de cette allégation le principe de l'immutabilité des conventions matrimoniales, qui ne permet sans doute pas qu'on transforme la dot, en mettant obstacle à la délivrance de la valeur qui en est l'objet, ne peut-on pas reprocher à la solution que je développe, de mutiler le droit du mari, qui avait compté, en se mariant, sur un quasi-usufruit, et à qui la disposition de la somme promise permettrait peut-être de rétablir son crédit ou d'étendre ses affaires, alors même qu'il ne présenterait pas, au jour de sa demande, des garanties absolument sûres de restitution ? La cour de Riom ne s'est pas arrêtée à cette objection, et, peut-être, en l'écartant, s'est-elle mieux conformée à l'esprit du régime dotal que les jurisconsultes qui la formulaient. Pas plus que la jurisprudence, le Code ne voit dans le régime dotal un

(1) Voy. la note de l'arrêtiste, et les autorités citées.

régime de spéculation : c'est un régime de conservation et de gestion de la fortune acquise, où les doléances du mari ne sauraient obliger les tribunaux à faciliter ses entreprises. La réponse vaudrait encore aujourd'hui pour le cas où l'on peut songer à maintenir le système de l'arrêt.

Jusqu'à présent, et sauf à déterminer, comme j'ai promis de le faire, le caractère et les conséquences de ce délaissement d'usufruit, que la cour de Riom substitue à la créance dotale, sa conception se tient et se justifie assez bien pour le présent comme pour le passé. Mais c'est à l'application que les difficultés vont surgir.

Observons en premier lieu que le terme « délaissement d'usufruit » est au moins impropre. Etablir, à titre dotal, un usufruit sur les paraphernaux de la femme, c'eût été transformer l'objet de la dot et remplacer la somme due par un immeuble. Sans doute, il ne s'agissait pas de rendre le mari propriétaire, par analogie du cas où il reçoit en contrat de mariage un immeuble estimé, avec déclaration de vente à son profit. Mais se fût-on borné à constituer sur les paraphernaux de la femme un simple usufruit, l'échec au principe de l'immutabilité des conventions matrimoniales n'eût pas été moins évident. Un usufruit sur un immeuble est toujours un immeuble, et c'est une créance que le mari a reçue du contrat de mariage. — En outre, sur les immeubles dotaux eux-mêmes, le mari n'a qu'un droit d'usufruit : dès lors, il semble qu'un usufruit créé sur les paraphernaux pour le remplir de la dot mobilière, aurait changé la condition de ces biens, et les aurait rendu dotaux, avec toutes les conséquences que cette qualification comporte (1). Telle ne pouvait être, telle n'était assurément pas l'intention des magistrats de 1809.

Ils ont entendu simplement, je crois, constituer le mari créancier de sa femme à concurrence de l'intérêt légal de la somme dotale, et lui permettre de « se faire expédier d'autant sur le produit net des immeubles de sa femme, par voie de saisie-

(1) Bien entendu, au point de vue de l'administration dotale seulement.

arrêt dans les mains des fermiers de ces immeubles, » sans lui conférer d'ailleurs aucun droit nouveau sur eux, ni l'exercice des actions, ni le pouvoir de renouveler les baux, que la femme devait continuer à exercer librement et sans autorisation (1).

La détermination précise des droits du mari dans l'arrêt que j'analyse ne présente donc pas de difficulté bien sérieuse. Il en est tout autrement en ce qui concerne l'application du système de l'inaliénabilité de la dot mobilière à la situation créée par cet arrêt. Sans doute, il est douteux que cette inaliénabilité fût déjà reconnue par la jurisprudenee à l'époque où il fut rendu : le monument de jurisprudence le plus ancien que j'aie relevé dans cet ordre d'idées, remonte au 2 août 1813 (2). On peut néanmoins admettre que dès 1809, les tribunaux auraient sanctionné l'inaliénabilité de la dot mobilière, si la question s'était présentée devant eux : elle est d'ailleurs entrée depuis de longues années dans nos mœurs judiciaires, et cela suffit pour que j'aie l'obligation de rechercher ici même si elle s'accorde avec une situation qui pourrait se reproduire aujourd'hui en pratique.

Supposons pour cela que la femme vende, avec l'autorisation de son mari, ses paraphernaux, ou que ses créanciers les saisissent. Comment se retrouvera la dot ? Non seulement l'arrêt ne le dit pas, mais il ne contient même aucune allusion à une difficulté, qui, si elle est insoluble, réduit à néant la doctrine qu'il sanctionne. Il existe heureusement, dans la jurisprudenee, une théorie à laquelle on peut songer pour en faire ici l'application. C'est celle de la représentation de la dot mobilière par l'immeuble cédé par le mari à la femme séparée de biens pour lui tenir lieu de cette dot ; j'indique le système sans en développer les termes, j'y reviendrai dans une autre étude. J'observe seulement que son établissement

(1) Art. 1449. Cpr. Aubry et Rau. V. 639 et 403.

(2) Bordeaux, 2 août 1813 (Sirey, 1812-1814, II 349.) MM. Aubry et Rau citent un arrêt antérieur de la Chambre des Requêtes, du 28 juin 1810 (Sirey, 1809-1811, I, 207.) Il statue sur une constitution de dot régie par l'ancien droit. (Aubry et Rau, V. 601, note 12. Cpr. Guillouard, IV, 359, note 1.)

définitif est très postérieur à l'année 1809 : la cour de Rouen l'ignore en 1824 (1), et la cour de Grenoble ne l'accepte pas encore en 1846 (2). Essayons toutefois de l'utiliser ici : nous n'y parviendrons pas sans peine.

Dans le système auquel je fais allusion, l'immeuble cédé par le mari à la femme séparée est affecté tout entier à la représentation de la dot : il est en un certain rapport de valeur avec elle : il est à présumer que celle de la dot égalait la sienne, lors du transfert de propriété qui l'a fait passer dans les mains de la femme. — Il est possible au contraire, dans l'hypothèse sur laquelle je raisonne, que la fortune paraphernale de la femme soit très supérieure à la dot qui est fondue, pour ainsi dire, en elle. — Dès lors, les créanciers (3) seront-ils tenus de faire au préalable ressortir intégralement la dot mobilière des paraphernaux qu'ils conservent le droit de saisir les uns après les autres, — ou devront-ils, à chaque bien paraphernal qu'ils saisiront, laisser consigner une fraction de la dot mobilière proportionnelle à la valeur que représente le paraphernal saisi, dans l'ensemble de la fortune paraphernale de la femme (4), — ou enfin, la dot mobilière se fixera-t-elle seulement sur les immeubles dont le mari a fait saisir les revenus, et qui représentent déjà son intérêt légal par leur produit net ? La dernière de ces trois combinaisons me paraîtrait plus conforme à l'esprit du système construit par la jurisprudence pour l'hypothèse d'une séparation de biens : j'ajoute qu'il y aurait tout lieu de croire en fait à son entière efficacité pour la conservation de la dot ; le revenu de la propriété foncière étant moindre que l'intérêt légal de l'argent, la valeur de l'immeuble dont le produit net représente cet intérêt légal, est assurément

(1) Rouen, 26 juin 1824. Sirey, 1822-1824, II. 392.
(2) Grenoble, 1 juillet 1846. Sirey, 1847, II. 280.
(3) Je m'occupe du cas le plus intéressant, qui est celui de la saisie.
(4) Exemple : la dot est de 50, et la fortune paraphernale de 100, elle est composée de deux immeubles de 50 chacun. Le créancier de 30 ne pourrait toucher dans cette hypothèse que 25 sur le premier immeuble saisi.

supérieure à celle de la dot. — Je reconnais d'ailleurs en terminant que tout cela ne s'impose pas avec la clarté de l'évidence, et que la discussion reste ouverte, non pas seulement sur l'accord problématique de la solution de 1809 avec le Code, mais encore et plutôt, sur les difficultés qu'on éprouve à lui conserver sa place dans l'ensemble des doctrines que les tribunaux ont élaborées postérieurement.

A supposer d'ailleurs que ces difficultés soient tout à fait insolubles, — et je ne le crois pas, — je ne regrette pas d'avoir insisté sur l'arrêt de 1809. Si peu fondé qu'on l'estime, il est précieux à relever, car il indique très clairement les tendances de la pratique : il peut servir à caractériser en jurisprudence la conception des droits du mari, et par là-même, à expliquer plus d'une solution donnée depuis à des questions voisines, dans le même ordre d'idées.

C'est ainsi par exemple que je rendrai compte d'un arrêt de cassation du 25 juillet 1853 (1) dont voici l'espèce. Une femme avait reçu de son père une constitution de dot en argent. Comme il existait entre le constituant et le mari un compte-courant, ils s'étaient entendus pour faire figurer la somme à l'actif du mari dans le compte-courant, moyennant quoi celui-ci n'en avait point exigé le paiement réel. Le compte-courant prit fin par la mort du constituant, dont la fille était prédécédée. Le mari, d'accord avec ses enfants, réclama aux autres héritiers de son beau-père, frères et sœurs de sa défunte femme, le paiement du solde qui ressortait à son profit du compte-courant désormais clos. On lui répondit que le solde en question représentait la créance née de la constitution de dot, que cette créance « appartenait exclusivement aux héritiers de sa femme, et qu'il n'était pas personnellement créancier. » La demande qu'il formait avec leur adhésion devait dès lors échouer, vu qu'ils devaient le

(1) Sirey, 1853, I. 739.

rapport de cette somme à la masse, et ne pouvaient en être payés qu'après les opérations relatives au partage de la succession.

Le mari n'est pas personnellement créancier de la constitution de dot : voilà le trait essentiel de la doctrine qui ressort de l'arrêt. L'idée est juste, je veux dire qu'elle s'accorde à merveille avec la décision de 1809 : la conséquence que la cour en tire est peut-être un peu hardie.

On ne conteste plus au mari le droit de disposer des créances dotales, qu'elles aient ou non pour origine une constitution de dot (1). Dans le premier cas, le mari est débiteur envers la femme ou ses héritiers de la somme qu'il reçoit lui-même, sauf application de l'art. 1569 : il ne le devient dans le second que s'il a disposé des créances ou qu'elles aient péri par sa faute (art. 1567). Quand la créance dotale a pour cause une constitution de dot, il y a donc une raison de plus pour lui permettre d'en user et de l'aliéner, puisqu'il est débiteur à tout événement (2) envers la femme ou ses héritiers du montant fixe de cette créance. Or, n'est-ce pas en disposer que la faire entrer dans un compte-courant ? C'est un caractère bien connu du compte-courant que toutes les créances qui y figurent « perdent leur individualité propre » (3) par une sorte de novation consentie au débiteur primitif avec lequel on est en compte-courant. L'obligation nouvelle de ce débiteur primitif équivaut à l'exécution de l'ancienne dont il est désormais libéré. Dès lors, il est difficile d'admettre que le solde qui ressort au profit du mari du compte clos représente la somme dotale. Il n'existerait pas sans doute, si elle n'avait pas figuré au compte-courant : elle est bien la cause du solde, mais ne peut servir à le

(1) Ce résultat était acquis en principe en 1851.
(2) Sauf dans le cas prévu par l'art. 1569.
(3) V. Boistel, *Théorie juridique du compte-courant* (*Revue générale du droit*, année 1883, page 244 et suiv., mais surtout p. 229).

qualifier et à lui imprimer un trait nouveau qu'il ne tienne pas des règles ordinaires qui régissent le compte-courant. Elle a péri pour le créer.

Le mari est donc investi, par l'admission de la constitution dotale au compte-courant, d'un droit distinct et personnel contre le constituant. — Sans doute, on a répondu que la novation qu'implique l'admission de la constitution dotale au compte-courant ne saurait avoir des effets si étendus. C'est une novation par changement d'objet : ce n'est pas une novation par changement de créancier ; une dette nouvelle et différente remplace l'ancienne, mais le créancier reste le même, et ce créancier, c'est la femme. — On peut écarter sans peine cette ingénieuse réponse. Il y a en effet, un changement de créancier, par cela seul qu'il y a un changement d'objet. Ce changement d'objet implique un changement dans le titre du mari à réclamer le paiement de la somme constituée en dot. C'est le mari qui est partie au compte-courant, et s'il y fait entrer cette somme, comme il n'est pas douteux qu'il puisse le faire, c'est lui qui en devient désormais créancier *proprio nomine*.

Il est utile enfin d'insister sur un détail qui ne paraît pas avoir été distinctement relevé devant la Cour. Le solde du mari peut être supérieur au chiffre de la constitution de dot. Il l'était dans l'hypothèse de 1853, ce qui veut dire qu'il était formé d'autres créances que de celle qui résultait de cette constitution. — A supposer que l'action du mari dût échouer comme l'a jugé la Cour, elle ne pouvait jamais échouer qu'à concurrence de la valeur comprise dans cette constitution : elle devait immédiatement réussir pour l'excédant. La conséquence de la résurrection de l'ancienne constitution totale et de son transfert en la personne des enfants était la division du solde. La Cour n'est cependant pas allée jusque-là : elle a purement et simplement arrêté provisoirement l'action du mari pour la totalité de son objet, préférant une solution désavouée par la logique et

l'équité, à celle dont l'équité même et le caractère logique eussent trop clairement indiqué le mal fondé.

Envisageons d'ailleurs la difficulté du côté des enfants. L'acte de disposition accompli par leur père sur la constitution de dot ne l'avait pas rendu leur débiteur : il était déjà le débiteur de leur mère, par l'effet même de la constitution seule ; mais cet acte avait en quelque sorte assuré leur titre et révélé sa dette envers eux. Enlever dès lors à cet acte ses conséquences, refuser au père toute action contre les ayant-cause du constituant, c'était le dégager du même coup vis-à-vis de ses enfants ; c'était feindre un transfert tacite et forcé de la créance dotale du père aux enfants ; transfert *tacite*, puisqu'aucun arrangement n'était intervenu entr'eux à cet effet ; — transfert *obligé*, puisque les faits indiquaient au contraire qu'ils consentaient à rester provisoirement ses créanciers, en adhérant à la demande formée par lui contre la succession de leur ascendant. Or, je ne crois pas qu'une institution de ce genre ait reçu nulle part l'assentiment du législateur. Nous sommes dégagés, en effet, depuis longtemps, de l'évolution difficile de la *procuratio in rem suam*, où j'avoue qu'il ne serait pas impossible de rencontrer des solutions analogues dans un ordre d'idées voisin (1).

Ce n'est pas tout, et je dois indiquer ici, pour achever ma démonstration, une difficulté que la Cour n'a pas eu à trancher, mais qu'on doit pouvoir trancher dans la doctrine qu'elle a consacrée, si cette doctrine est vraiment juridique. — Supposons que la constitution de dot ait été garantie par des sûretés personnelles ou réelles : son admission au compte-courant les a fait disparaître, cela n'est pas douteux. Renaîtront-elles au profit des enfants, quand le transfert dont je viens de parler s'accomplit à leur profit? Si oui, le transfert n'est pas un transfert : les enfants ne peuvent en effet tenir de leur père que ce qu'il a lui-même, et il n'a plus ces garanties. Si non, comment

(1) Const. 2, Code, *de oblig. et action.* IV, 10.

expliquer qu'ils soient contraints d'échanger un débiteur solvable contre un autre qui l'est peut-être moins?

La solution de la cour me paraît donc injustifiable sous quelque face qu'on l'envisage, et quelle que soit d'ailleurs la justesse de l'idée générale sur laquelle elle s'est appuyée pour l'émettre. Même en reconnaissant avec elle que le mari est toujours un pur administrateur de la dot, et qu'il faut spécialement éviter à ce titre de le transformer en un créancier personnel de la constitution dotale, son action n'en devait pas moins suivre son cours et atteindre son but. Car il s'était produit un acte de disposition qui le rendait créancier personnel, et il appartenait d'autant moins à la jurisprudence de lui dénier cet effet, qu'elle avait en 1853 conféré depuis de longues années au mari le droit de disposer des créances dotales quelles qu'elles soient (1).

Comment dès lors peut-on s'expliquer l'arrêt de 1853? — Il suffit pour cela d'indiquer l'intérêt qu'avaient les ayant-cause du constituant à faire échouer l'action du mari. La succession du constituant comprenait sans doute une somme d'argent suffisante à payer le solde, et c'est de l'argent comptant provenant de la succession de leur ascendant que les enfants héritiers de leur mère eussent ainsi obtenu de leur père après le succès de son action. Mais les autres héritiers de l'auteur commun, frère et sœur de la femme autrefois dotée, n'eussent été remplis de leur part dans la succession du constituant que par des immeubles (art. 869). La composition des lots assignés à chacun des copartageants n'eût pas été la même pour tous, et l'art. 829, dont les tribunaux maintiennent avec un soin jaloux l'application, eût souffert une atteinte que la Cour a voulu éviter. Il eût été impossible d'échapper à ce résultat, si le paiement de la dot avait eu lieu avant la dissolution du mariage dans les mains du mari. Ce paiement ayant été différé jusqu'à une époque

(1) L'arrêt le plus ancien que j'ai relevé en ce sens est un arrêt de la Cour de Paris, du 28 mars 1829 (Sirey, 1828-1830, II. 240.

où la question se posait de liquider et de partager la succession du constituant, ascendant commun de tous les intéressés, la Cour a saisi l'occasion d'appliquer l'art. 829. C'est dans ce but qu'elle a mis en avant l'idée que le mari est simplement un administrateur de la dot. Elle a mal employé un bon moyen dans une mauvaise cause.

La longue série de reproches que je viens d'adresser à l'arrêt de 1853 ne diminue par conséquent ni sa valeur doctrinale ni son importance historique dans l'évolution de l'institution que j'étudie. Il me fournit un exemple nouveau de l'adhésion donnée par les Cours d'appel à cette idée, que le rôle du mari est celui d'un administrateur, et ne varie jamais, quelque soit l'objet de la constitution dotale. Si les conséquences qu'elles ont tirées jusqu'à présent de cette idée ne défient pas la critique, il est possible que l'avenir nous révèle des cas où la lettre du Code et les doctrines réellement assises de la jurisprudence elle-même seront moins rebelles à son succès.

II.

L'issue naturelle de l'action du mari est le paiement de la somme constituée en dot. Dans un monument de jurisprudence d'une explication difficile, qui se réfère à cet ordre d'idées, nous allons retrouver la trace de cette doctrine que le mari est un simple administrateur de la constitution dotale; cet arrêt, beaucoup plus récent que ceux que je viens d'analyser, a renoué la tradition, si je puis dire, et rendu son premier éclat à la conception originale dont je retrace le développement.

Voici en effet l'hypothèse sur laquelle s'est prononcée la Cour de Cassation le 29 juillet 1879 (1). — Les ascendants de la future lui constituent en dot une somme à prendre sur leur succes-

(1) *Revue du Notariat*, année 1879, page 677.

sion à titre de donation particulière de biens à venir. Plus tard, les constituants versent au mari la somme constituée, dont le contrat de mariage, comme je viens de l'indiquer, renvoyait le paiement à l'ouverture de leur succession. Pouvait-on considérer le paiement anticipé comme l'exécution valable de l'obligation assumée par les ascendants de la future, de telle sorte que le mari devînt responsable dès ce jour d'une égale somme envers elle, et qu'elle acquît à ce titre sur ses biens une hypothèque égale à laquelle elle ne pût renoncer?

Ce n'était pas l'avis de la Cour de Chambéry : et les apparences, en effet, sont pour elle. C'est une formule souvent répétée que le droit au titre d'institué et à l'émolument de ce titre constitue un droit éventuel à la succession du disposant, alors même qu'il s'agirait d'une donation de biens à venir à titre particulier (1). Dès lors, le paiement anticipé de la somme que cette donation a pour objet n'est autre chose qu'un pacte sur succession future : il est nul, puisque les parties ont entendu attacher cette conséquence à la tradition des deniers, que le donataire abdiquerait *actuellement* le droit *éventuel* qu'il avait acquis dans la succession du disposant. Il n'a donc pu faire naître au profit de la femme aucune hypothèque légale. Et l'on ajoute qu'il est fort heureux qu'il en soit ainsi : les tiers, en effet, lorsqu'ils ont traité avec le mari, n'ont pas manqué de lire son contrat de mariage, ils y ont vu que l'hypothèque légale ne frapperait jamais ses biens pour assurer la restitution de cette somme, que du jour encore éloigné où il pourrait la toucher, qu'ils n'avaient par conséquent rien à craindre d'elle en traitant actuellement avec lui. Permettre à la femme de les primer, en alléguant ce paiement anticipé qu'ils ne connaissaient pas, c'est faire brèche à l'équité, comme au texte précis de l'art. 1395.

(1) Demolombe, tome XXIII (VIe des *Donations*) n°s 280 et 324.

La Cour de cassation n'a pas sanctionné cette doctrine, et son arrêt du 29 juillet 1879 écarte la prétention, si légitime à première vue, des créanciers du mari. Comment concilier cet arrêt avec les principes généraux du droit? Sans être tout à fait aisée, la tâche n'est peut-être pas impossible.

Il n'est pas douteux que la femme pût recevoir d'un tiers quelconque, et du constituant lui-même, pendant le mariage, une donation. Il n'est pas douteux non plus que l'émolument de cette donation passant dans les mains du mari, les immeubles de celui-ci fussent grevés d'une hypothèque au profit de la femme donataire, du jour de la réception des deniers donnés (1). — Rien d'ailleurs n'empêche que nous envisagions comme une donation réalisée dans ces termes, le prétendu paiement de la somme promise à titre d'institution contractuelle par le disposant. Les créanciers hypothécaires du mari, postérieurs à ce paiement, que j'envisage provisoirement comme une donation, n'avaient dès lors aucun droit à contester la priorité de l'hypothèque légale destinée à en assurer le recouvrement.

Il est bien vrai, et c'est ici que s'accuse nettement le caractère que j'assigne à l'opération, que cette hypothèque légale ne présente point elle-même celui qu'elle eût nécessairement revêtu, si l'on eût pu considérer cette opération comme l'exécution juridique de la promesse faite en contrat de mariage par le constituant. Cette opération se réduisant provisoirement à une donation ordinaire, dont le mari a reçu le montant pour sa femme, l'hypothèque légale emprunte sa nature à la somme dont elle garantit la restitution. Cette somme fait partie la fortune paraphernale de la femme, puisqu'elle provient d'une donation postérieure au mariage, et qu'une constitution universelle n'avait pas été stipulée dans le contrat qui le précédait. Il est donc impossible de refuser à la femme la faculté de renoncer à cette hypothèque légale.

(1) Voy. art. 1577, 2121, 2135.

D'un autre côté, il est bien évident que la donation dont je parle n'enlèverait pas à la femme le droit de réclamer à la mort du constituant, la valeur de la constitution. Mais, sauf le cas où elle eût renoncé, du vivant de celui-ci, à l'hypothèque légale qui lui assurait la restitution de la somme donnée à son mari pour elle, — et je m'occuperai tout à l'heure de cette complication, — elle n'aurait aucun intérêt à le faire. Car les héritiers du constituant ne manqueraient pas d'agir ensuite contre elle et son mari en restitution des deniers donnés par leur auteur de son vivant, et destinés, dans sa pensée, à représenter la valeur de la constitution dotale qu'il avait faite. La réclamation de la femme à sa succession eût enlevé en effet sa cause juridique à la tradition de ces deniers, parce qu'elle eût montré clairement que la femme n'entendait pas conserver le bénéfice de l'intention libérale dans laquelle le constituant avait anticipé l'effet de sa disposition. La tradition de ces derniers eût rétroactivement perdu le caractère que je lui ai assigné : elle n'eût plus été une donation.

L'intérêt de la femme à ne pas inquiéter la succession du constituant n'est donc pas douteux. La donation paraphernale que j'ai dégagée des faits sur lesquels a statué la Cour de Cassation, suffit dès lors à expliquer le bien-fondé de sa décision. — J'ajoute que la dotalité qui doit frapper, conformément au contrat de mariage, le montant de l'institution contractuelle, et la valeur qui la représente, ne disparaît pas pour cela. Cette valeur, et l'hypothèque légale qui en assure à la femme le recouvrement, deviendront dotales du jour où le contrat de mariage permettait qu'elles le fussent, du jour du décès du constituant. A compter de ce jour, la femme aura perdu le droit de disposer de cette hypothèque.

Que se produira-t-il si elle en a antérieurement disposé ? La question est maintenant facile à résoudre : son intérêt à méconnaître le caractère assigné par le disposant à la tradition

des deniers qu'il a faite au mari de son vivant la déterminera à se prévaloir contre la succession de l'institution contractuelle qui lui a été consentie. Les héritiers poursuivront sur sa fortune paraphernale la restitution des deniers donnés par leur auteur en exécution de sa promesse ; le mari subira lui-même leur action, s'il a géré cette fortune paraphernale, et s'il est nanti des valeurs qui la composent.

J'espère avoir ainsi résolu les principales difficultés que soulève l'arrêt de 1879 : je n'oserais affirmer que ces auteurs aient prévu et ratifié d'avance l'interprétation que j'en donne ; la question qui leur était soumise était moins large, et ils n'ont pas eu à se prononcer sur toutes celles que j'ai posées. — Toutefois les considérants de l'arrêt me paraissent favorables à la doctrine que j'en ai tirée. La Cour, en effet, sans soulever la question de dotalité, se borne à opposer à la réclamation des créanciers du mari, le principe de la généralité de l'hypothèque légale. J'en induis qu'elle reconnaît l'existence d'une obligation du mari envers la femme, différente de celle qu'eût fait naître l'exécution proprement dite de la constitution dotale par le disposant. La preuve en est qu'il eût été bien inutile de rappeler le principe de la généralité de l'hypothèque légale, dont on n'a jamais contesté l'application à l'obligation de restituer la dot : l'obligation dont la Cour admet la validité a trait dès lors à une valeur paraphernale, que le mari a reçue en qualité de *mandataire* de sa femme ; l'expression figure dans l'arrêt. Mais cette valeur n'est au fond que l'équivalent de la somme constituée en dot, et j'ai montré qu'elle doit prendre en effet le caractère dotal au décès du disposant. — Peut-être est-il permis à ce titre de chercher la cause profonde et l'explication dernière de l'arrêt que je viens d'analyser, dans l'influence de cette idée latente et vivace, que le mari est nn administrateur de la dot, préposé à sa réalisation quand elle a pour objet de l'argent. L'arrêt de 1879 est un nouvel anneau

ajouté à la chaîne subtile que la jurisprudence a forgée dans cet esprit.

III.

Le Code a eu soin de lui fournir le premier. L'art 1569, dont l'étude me paraît trouver ici même sa place naturelle, constitue en effet le fondement légal de l'ingénieuse idée dont je viens marquer le progrès.

Si le mari était vraiment créancier personnel de la dot, quelle influence aurait sur l'action en restitution de la femme, le défaut de paiement de la dot au mari par le constituant? — Je crois qu'on peut, sans trop de hardiesse, construire, comme je vais le faire, ce système hypothétique.

Le mari serait débiteur envers sa femme, sous la condition qu'il eût, au préalable, reçu des mains du constituant, l'objet de sa dette. Le paiement de la dot au mari par le constituant, serait la condition suspensive de l'obligation du mari envers sa femme. Il appartiendrait par conséquent à cette dernière de prouver que la condition sous laquelle elle est créancière de son mari, s'est réalisée, d'établir en un mot la réalité du paiement de la dot. Elle pourrait d'ailleurs substituer à cette preuve celle de la négligence caractérisée du mari à se faire payer, conformément au droit commun de l'art. 1178 : le débiteur obligé sous condition, le reste malgré la défaillance de la condition, si cette défaillance lui est positivement imputable.

Le système de l'art. 1569 est tout différent. Le mari ne peut exiger de sa femme, lorsqu'elle veut qu'il rende sans prouver elle-même qu'il a reçu, la preuve qu'il aurait pu recevoir. La loi dispense la femme de prendre l'initiative de la preuve de la négligence de son mari, dont elle stimule la vigilance, en présumant parfois son incurie. — Peut-être même est-il permis de penser que cette présomption de faute n'a pas pour

unique effet d'alléger la femme du fardeau de la preuve. Il ne serait pas impossible de soutenir que le mari serait tenu à une vigilance moins grande, qu'il ne serait obligé envers sa femme que sur la preuve d'un acte positif de négligence grave ou de mauvaise foi, dans le système hypothétique où elle fonderait sa réclamation contre lui sur l'art. 1178.

Ce système serait celui où l'on pourrait considérer le mari comme un créancier personnel de la dot. Le système contraire que la loi lui a substitué dans l'art. 1569 n'est-il pas le signe caché du titre très différent du mari à exiger le payement de la dot ?

C'est ce que la jurisprudence a compris, et le rapport étroit que je viens d'établir avec elle entre la présomption de l'art. 1569 et le droit du mari à poursuivre le constituant, m'impose l'obligation de rechercher ici même comment elle a maintenu sur ce point l'esprit de la loi et appliqué sa disposition.

Le mari est débiteur de la dot envers la femme, sans qu'elle ait à prouver qu'il en a réellement reçu le montant, sous la double condition que le mariage ait duré dix ans depuis l'échéance du terme accordé au constituant pour sa libération, et que le mari ne puisse alléguer qu'il l'a poursuivi sans résultat. Voilà le texte. Il n'établit pas une *présomption de paiement* de la dot ; l'étude de ses précédents dans l'ancien droit suffirait d'ailleurs à écarter cette conception. Il établit une *présomption de faute*, que le mari peut écarter par la preuve des inutiles diligences qu'il a faites. On veut punir sa négligence et attacher une sanction à la responsabilité dont elle le charge. Aussi le juge se montrera-t-il alternativement rigoureux et doux : simple et banale formule, qui nous donnera, je crois, la clef de la jurisprudence, et des prétendues variations qu'elle a subies.

I. — C'est une preuve de sa vigilance qu'on demande au mari; les diligences inutilement faites que le texte lui permet

d'invoquer n'ont pas d'autre sens. Pourquoi dès lors ne pas l'autoriser à substituer à la preuve de la réalité de ces diligences la preuve de l'inutilité qu'il y avait à les faire? Il devait poursuivre le constituant, soit : mais pourquoi l'obliger à subir les ennuis et à faire les frais d'une poursuite, quand il était notoire qu'elle ne pouvait pas aboutir? Devait-il enfin pousser la vigilance jusqu'à la malignité?

Non sans doute, a répondu la Cour de Douai (1), dans une hypothèse un peu différente, mais voisine au fond, de celle que j'envisage. La femme elle-même s'était constitué en dot une somme de 20,000 fr., à prendre, ajoutait le contrat, sur la succession purement mobilière de son père prédécédé : il ressortait de l'inventaire et de la liquidation de cette succession que la femme en avait retiré une valeur moindre. La preuve de ces faits permit au mari d'échapper à la restitution de l'excédant, bien qu'il n'eût point agi contre sa femme, pour l'obtenir antérieurement d'elle (2). Elle lui répondait, il est vrai, que l'art. 1341 l'empêchait de lui opposer l'acte de liquidation de la succession de son père : il semblait en effet que le mari cherchât ainsi à prouver qu'elle s'était réellement constitué en dot une somme inférieure à celle dont le contrat de mariage faisait mention. Puisque la constitution dotale ne

(1) Douai, 27 mai 1841, Sirey, 1841, II, 450. — Je dois noter ici : 1° Que l'arrêt de la Cour de Douai statue sur l'hypothèse d'un apport en communauté: les époux n'avaient pas adopté le régime dotal. — Il me suffit que la femme ait invoqué l'art. 1569, et que la Cour l'ait suivie sur ce terrain, pour appliquer au régime dotal la solution qu'elle a donnée: je préviens que je compte m'appuyer encore à ce titre, dans la suite de cette discussion, sur des arrêts intervenus dans le même ordre d'idées. — 2° Il y avait deux autres raisons pour écarter de l'espèce la présomption de l'art. 1569: la femme l'opposait aux créanciers du mari en faillite, et non pas au mari; enfin la constitution de dot émanait d'elle. C'est une double question que de savoir si, dans l'un et l'autre cas, l'art. 1569 peut encore s'appliquer. Cette double difficulté n'ayant pas été soulevée, j'ai pu, je crois, me servir de l'arrêt comme je l'ai fait, et le rattacher à la présente discussion.

(2) Et il lui eût été difficile d'agir, puisqu'en fait, la femme n'avait rien de plus, et qu'en droit son action ne pouvait s'étendre, aux termes du contrat de mariage, à d'autres biens de sa femme, si elle en avait eu.

pouvait jamais se prendre que sur l'actif de la succession, et que l'actif était inférieur à la somme à laquelle cette constitution s'élevait, — opposer l'inventaire de la succession aux stipulations du contrat de mariage, proposer de corriger celles-ci par celui-là, n'était-ce pas demander à prouver « contre le contenu à l'acte authentique » du contrat? La Cour a finement écarté l'objection en observant que la possibilité de la preuve de l'infériorité de la somme versée à la somme promise résultait de l'acte authentique lui-même, aux termes duquel la valeur affectée au paiement de la somme promise était seulement l'actif de la succession du père défunt ; « l'allégation du mari est destinée, dit-elle, à corroborer un fait qui se trouve déjà relaté dans l'acte authentique. »

La même doctrine se retrouve dans un arrêt de la Cour d'Agen (1) du 21 mai 1869. L'hypothèse est beaucoup plus simple, et le mari demandait simplement à prouver l'insolvabilité du constituant à l'époque de la constitution. Il est clair que ses poursuites n'eussent point abouti et qu'on ne pouvait à ce titre lui reprocher de n'avoir pas agi.

La Cour de Poitiers s'est conformée à cette jurisprudence, le 21 juin 1881 (2), en ajoutant peut-être un dangereux motif à l'application qu'elle en a fait. Le constituant, dans l'espèce, était le grand-père de la femme. « On ne peut reprocher au mari, dit la Cour, de n'avoir point usé envers cet ascendant de voies de rigueur, qui n'eussent, au surplus, produit aucun résultat utile. » J'avoue qu'au point de vue juridique, la fin de la phrase est préférable à son début.

En résumé, si la preuve de l'insolvabilité du constituant à l'époque de la constitution, ou la localisation des poursuites du mari sur une fraction des biens de la femme, dégage sa responsabilité, la raison en est que sa négligence n'apparaît ni

(2) *Revue du Notariat*, année 1870, page 685.
(1) Dalloz, 1882, II, 224.

dans l'un ni dans l'autre cas. La jurisprudence élargit à son profit l'abri insuffisant que lui offre la lettre du texte, ou plus exactement, complète cet abri par une construction du même style.

Mais elle ne lui en ouvrira l'accès qu'à bon escient, et sa bienveillance ne tournera pas en duperie. Un arrêt de la Cour d'Agen, du 15 décembre 1844 (1) va m'en fournir une preuve topique. Dans cette hypothèse, le mari, ou plus exactement ses héritiers, voulaient substituer à la preuve de l'insolvabilité du constituant à l'époque de la constitution, la preuve de son insolvabilité à l'époque de la restitution. Réplique insuffisante et défense inutile, puisqu'il n'en résultait pas que ses poursuites eussent dû rester antérieurement sans effet : son inaction dégageait d'autant moins sa responsabilité, que la solvabilité du constituant à l'époque de la constitution ressortait des faits. Je ne crois pas qu'il fût nécessaire de relever ce détail pour appliquer au mari l'art. 1569. Eût-il été impossible de le relever, la preuve de l'insolvabilité du constituant à l'époque de la restitution n'entraînait pas celle de la vigilance du mari, et cela suffisait, dans l'esprit du système de la jurisprudence, pour qu'on lui appliquât la présomption de négligence de l'art. 1569.

L'arrêt de la Cour d'Agen n'a donc rien de contraire à celui de la même Cour que j'ai relevé plus haut, quoi qu'en ait dit l'arrêtiste qui a recueilli le second : les faits n'étaient pas les mêmes dans les deux cas. Je dois avouer cependant, pour être tout à fait exact, que les motifs de l'arrêt de 1844 semblent exiger en tous cas du mari la preuve de poursuites inutiles réellement faites. Dans cette doctrine, la preuve de l'insolvabilité du constituant à l'époque de la constitution ne suffirait pas à le dégager. Il ne faut peut-être pas s'attacher trop étroitement à ces motifs de l'arrêt de 1844, dont le

(1) Sirey, 1845, II, 229.

dispositif se concilie sans peine avec le système des arrêts de 1869 et de 1881.

Ce système, la jurisprudence l'avait tacitement consacré, bien avant les arrêts que je viens de rappeler, et que j'ai commentés avant ceux dont je vais m'occuper, parce que ses intentions et son esprit s'y révèlent plus clairement. Mes lecteurs voudront bien rétablir par la pensée l'ensemble de l'évolution dont je puis maintenant dessiner les détails.

S'il était *invariablement* nécessaire que le mari pût alléguer des poursuites inutiles contre le constituant pour échapper à la présomption de l'art. 1569, il lui suffirait *invariablement* de le faire, pour y échapper. Si la preuve de ces poursuites est toujours *nécessaire*, il est juste aussi qu'elle *suffise* toujours. N'attachez ma libération qu'à cette preuve, pourrait dire le mari, j'y consens : mais la logique vous oblige alors à l'y attacher en tous cas. Si vous me refusez le second terme de l'alternative, quel titre avez-vous pour exiger mon adhésion au premier ?

Or, il résulte d'un arrêt déjà ancien que la jurisprudence a refusé de très bonne heure au mari le bénéfice du second terme, préparant ainsi à de longues années d'intervalle, la bienveillance logique avec laquelle elle lui a octroyé le bénéfice du premier. C'est à un arrêt de la Cour d'Aix, du 24 Août 1829 (1), que je fais allusion. Le constituant, solvable à l'époque de la constitution, avait cessé peu à peu de l'être. Le mari, qui avait différé les poursuites jusqu'à ce moment, se résigna à les entreprendre, les dix ans n'étant d'ailleurs pas révolus. Il n'obtint du constituant, comme prix de son désistement des poursuites commencées, que la cession d'une créance d'un recouvrement douteux, et prétendit ensuite se libérer envers sa femme en lui transmettant cette créance. Sa négligence était notoire malgré l'inutilité des poursuites

(1) Sirey, 1828-1829, II, 328.

réelles qu'il avait tardivement faites. Il dut rembourser à sa femme l'intégralité de sa dot.

J'arrête ici mes développements sur cette première série de difficultés, et je résume la jurisprudence en disant qu'à part les deux hypothèses de 1829 et de 1844, où l'évidence des faits protestait contre le mari, elle s'est montrée coulante et douce envers lui. Tant qu'il s'est agi pour elle d'agréer la preuve de sa vigilance, elle a facilement écarté la présomption de l'art. 1569. Dès qu'il s'agira de fixer la mesure et le degré de cette vigilance, elle changera d'allures, et loin d'affaiblir le texte, en accroîtra l'énergie.

II. — Lorsqu'il est impossible au mari de prouver qu'il n'est pas en faute, il est constitué débiteur de sa femme, sauf à lui, bien entendu, à se faire ultérieurement payer par le constituant. La solution contraire s'imposerait, si l'art. 1569 établissait une *présomption de paiement*. Mais j'ai dit que ses origines historiques ne permettent pas d'admettre qu'il soit allé aussi loin : c'est une simple *présomption de faute* qu'il établit.

La conséquence pratique est bien remarquable. Il peut arriver, dans deux cas différents, que la même personne soit obligée de payer la dot au mari, et puisse en exiger de lui la restitution. La femme a hérité du constituant ou s'est elle-même constitué en dot une somme voulue : dans l'une et l'autre hypothèse, à l'époque de la restitution de la dot, la femme et le constituant ne font qu'un. Il résulte de là que la présomption de faute de l'art. 1569 se transformerait en une présomption de paiement, s'il était permis encore à la femme de l'invoquer. Puisque la restitution de la dot exigée par vous aux termes de l'art. 1569 n'éteint pas mon action contre le constituant, et que cette action n'est d'ailleurs pas éteinte par la prescription de droit commun, j'aurais le droit, dirait le mari, d'agir immédiatement contre vous en paiement d'une somme égale à celle que je vous rends, puisque vous êtes devenue ou que vous avez

toujours été vous-même le constituant : je ne vous dois rien. J'admets la réalité de ma négligence, mais ce n'est pas à vous à me la reprocher : vous n'en souffrez pas.

Vous en souffrez d'autant moins, diront à leur tour à la femme, dans le cas où elle hérite du constituant, les Cours de Riom (1) et de Grenoble (2), que cette négligence, en réalité, n'existe pas. « Le décès du constituant a éteint l'action de votre mari contre lui, » pour y substituer l'action en partage des biens héréditaires qu'il lui est interdit d'intenter seul (3). Cette extinction n'est pas limitée à la durée des opérations du partage ; elle est définitive, et l'action de votre mari ne renaîtra pas après elles contre vous. Elle est éteinte : elle n'est pas suspendue (4). Lui reprocherez-vous dès lors de ne pas l'avoir exercée ?

Quelques années plus tard, les réclamations renouvelées de la femme modifieront la jurisprudence, inattaquable en apparence, dont je viens d'indiquer les plus anciens monuments. — Il est vrai, dira la femme, que je n'ai pas retrouvé de quittance dans la succession du constituant ; mais c'est parce que mon mari n'a pas eu la précaution d'en libeller une ; — ou encore : je l'ai payé après le partage, sur les biens paraphernaux que j'y ai recueillis, et je n'ai pu obtenir de lui la quittance que vous me demandez (5), mais l'ensemble des faits et la composition de sa fortune actuelle comparée à celle de son patrimoine antérieur au mariage, ses aveux anciens ou son attitude récente, impliquent la libération du constituant, ou la mienne.

La Cour de Nîmes admettra ces allégations le 23 Mars

(1) Riom, 20 juin 1857, Sirey, 1858, II. 47.
(2) Grenoble, 25 avril 1861, Sirey, 1861, II. 513.
(3) L'arrêt le plus ancien est celui d'Agen, 24 fév. 1809, (Sir. 1809-11, II. 34).
(4) Raisonnement dont je ne puis m'empêcher de noter le parfait accord avec l'arrêt si curieux de la Cour de Riom, du 11 février 1809. Voy. *supra*, p. 4.
(5) Même raisonnement pour le cas où la femme s'est constitué à elle même sa dot en contrat de mariage.

1866 (1), et la Cour de Caen confirmera cette jurisprudence par un arrêt du 3 Mars 1875 (2), que la critique n'a pas épargné, si j'en juge par la note de M. Labbé au recueil de Sirey. J'essayerai tout-à-l'heure d'en défendre la doctrine, ou plus exactement, de montrer qu'il n'est pas inconciliable, comme on l'a soutenu, avec les arrêts de 1857 et de 1861, parce qu'il n'implique pas la transformation de la présomption de l'art. 1569 en une présomption de paiement. Je veux noter au préalable un nouvel arrêt de la Cour de Nîmes, du 14 août 1877 (3), où je trouve une preuve indirecte que les arrêts de 1866 et de 1875 ont fait jurisprudence. La Cour y écarte la prétention de la femme, en relevant dans les motifs de son arrêt l'absence complète des probabilités et des faits qui auraient pu l'appuyer et en assurer la réussite.

Essayons maintenant de nous rendre compte de cette curieuse évolution. Ne semble-t-il pas qu'en autorisant la femme à exiger du mari la restitution de sa dot sans prouver juridiquement qu'il l'a reçue, sous la double condition qu'elle établisse des faits d'où l'on puisse induire la probabilité du paiement, et que le mariage ait duré dix ans depuis l'échéance de la constitution, la jurisprudence ait transformé la présomption de faute de l'art. 1569 en une présomption de payement? Je ne puis le croire, et sauf à indiquer ultérieurement une autre explication de ses arrêts, je puis alléguer dès maintenant trois motifs à l'appui de mon incrédulité. — Si tel avait été son but, elle eût fait preuve d'une timidité trop grande pour tant de hardiesse: pourquoi aurait-elle restreint la transformation de la présomption de faute en une présomption de paiement au seul cas où la femme établit des faits conformes à sa prétention? Pourquoi ne l'eût-elle pas étendu à l'hypothèse inverse,

(1) Sirey, 1866, II, 315.
(2) Sirey, 1875, II, 201.
(3) Sirey, 1878, II, 111.

en permettant à la femme d'invoquer en tout cas l'art. 1569, sous la seule, mais nécessaire condition, que le mariage ait duré dix ans depuis l'échéance de la constitution? Car on ne s'arrête pas en si bon chemin quand on a fait le premier pas, le seul qui coûte. Rachetez au moins, pourrait-on lui dire, l'audace par la logique, et, si vous bâtissez à neuf, ne faites pas l'économie d'un vieux mur. — Expliquez-nous d'ailleurs, avant d'aller plus loin, pourquoi vous avez étayé de vos mains toute l'ancienne maison, par vos arrêts de 1857 et de 1861 (1). — Vous y avez enfin si commodément logé le principe auquel vous tenez tant — le mari est un pur administrateur de la dot, — qu'il est permis de vous demander s'il ne se trouvera pas un peu gêné dans la construction nouvelle.

Aussi bien, le vrai sens des arrêts de 1866 et 1875 me paraît tout différent : remontons, pour le saisir, au principe du système.

Le mari est obligé de restituer la dot : comme il ne peut restituer que s'il a reçu, et que, loin de pouvoir s'affranchir de son obligation future en évitant de la faire naître, il est positivement tenu de la faire naître en poursuivant le constituant, il est responsable envers la femme de son inaction. Cette responsabilité n'est, au fond, que la garantie de son obligation de restitution. Voilà le système, provisoirement dégagé de toute difficulté purement relative à la preuve de sa responsabilité.

Mais le défaut de paiement et la négligence du mari à l'exiger du débiteur ne sont pas les seuls événements que la femme ait à redouter, et contre lesquels il soit bon d'assurer le maintien de sa créance en restitution. L'impossibilité de prouver la réalité du paiement, lorsqu'il a eu lieu, n'est pas moins dangereuse pour elle. Son droit contre le mari dépend de la réalité du

(1) Riom, 20 juin 1857, Sirey, 1858, II, 47. — Grenoble, 25 avril 1861, Sirey, 1861, II, 513. — *Suprà*, pag. 27.

paiement, et la réalité du paiement dépend, à son tour, de la preuve du paiement. Dès lors, s'il est juste que la loi l'ait défendue contre l'inexistence du payement, imputable au mari, on peut admettre qu'elle l'a défendue aussi contre la difficulté de prouver ce paiement, quand on peut imputer cette difficulté au mari.

La seule différence entre les deux cas sera celle-ci. La négligence du mari à réclamer le paiement sera légalement présumée, sous la condition qu'indique l'art. 1569. On se gardera de présumer de même la négligence du mari à conserver la preuve du paiement : ce serait étendre le texte à une hypothèse qu'il ne vise pas, et transformer la présomption qu'il établit en une présomption de paiement. On admettra seulement que la preuve de cette négligence d'un nouveau genre peut résulter des allégations vraisemblables de la femme, et le mari se trouvera dès lors obligé, moins parce qu'il a été payé, que parce qu'il a été négligent (1).

La preuve du paiement ne peut résulter de ces allégations et des circonstances de fait que la femme invoque. C'est un *acte juridique*, et la preuve écrite est nécessaire pour l'établir. — Mais la négligence que la femme impute à son mari est un *fait naturel*, dont la preuve est plus libre. — Sans doute, on peut répondre que le mari n'a été négligent dans cette hypothèse que s'il a été payé : tant que ce dernier point n'est pas établi, et il ne peut l'être que par une preuve écrite, le premier ne saurait l'être non plus. Je réponds à mon tour que le cercle vicieux qu'on me reproche, ou qu'on reproche à la jurisprudence elle-même, si l'on veut bien s'arrêter à l'interprétation que j'en donne, est commandé par les faits et les besoins pratiques. C'est le seul moyen qu'on ait de mettre

(1) Je relève particulièrement en ce sens la fin de l'arrêt précité de la Cour de Nîmes, du 14 août 1877. (Sirey, 1878, II 111).

en jeu cette seconde responsabilité dont il est difficile de ne pas charger le mari.

J'ajouterai une observation qui ne manque pas d'intérêt, et qui pourra me servir à éclairer mieux encore l'évolution de la jurisprudence ; je ne prétends à rien de plus. — Dans le cas particulier où la constitution de dot émane d'un tiers auquel succède ultérieurement la femme, on peut à la fois soutenir que le paiement antérieur effectué par le constituant, s'il est un acte juridique dans les rapports du constituant et du mari, est un fait naturel dans les rapports du mari et de la femme, et qu'enfin celle-ci peut invoquer, à défaut de la lettre de l'art. 1348, l'esprit qui en a inspiré la disposition (1).

Cette hypothèse, où la prétention de la femme revêt un caractère particulièrement favorable, est justement celle sur laquelle a statué la Cour de Nîmes, le 23 mars 1866. Quant à l'arrêt de la Cour de Caen, du 3 mars 1875, il n'aurait pas soulevé les vives protestations dont M. Labbé s'est fait l'interprète au recueil de Sirey, s'il n'avait eu précisément pour objet d'appliquer la même doctrine à l'hypothèse plus délicate où la femme s'est contitué à elle-même sa dot. Il est vrai que cette infériorité du titre de la femme était rachetée dans l'espèce par un avantage qui lui rendait la lutte plus facile : elle invoquait un commencement de preuve par écrit, à l'appui des faits nombreux d'où semblait résulter la réalité du payement de la dot. Il était par conséquent bien inutile que la Cour alléguât dans ses motifs l'extension pure et simple de la présomption de l'art. 1569 aux rapports de la femme et du mari, qu'elle la transformât ainsi en une présomption légale de paiement, et rappelât dans ce but l'ancienne jurisprudence du Parlement de Paris. A ce dernier point de vue, la Cour a dépassé gratuite-

(1) Je me borne à indiquer l'argument : je ne pourrais le développer et en montrer toute la force qu'en essayant ici même de construire une théorie comparée du fait naturel et de l'acte juridique, c'est-à-dire en sortant des limites de mon sujet.

ment les limites mêmes de la doctrine que j'ai tirée des arrêts antérieurs ; je crois cependant que le sien peut conserver encore une place à côté d'eux, à raison des lignes significatives où elle fait allusion à la responsabilité du mari (1).

Je conclurai de ces observations déjà trop longues, qu'à côté de la présomption de négligence du mari à exiger le paiement de la dot, il existe à sa charge, aux termes d'une jurisprudence dont les solutions sont plus nettes que les motifs, une responsabilité fondée sur sa négligence à conserver à la femme la preuve du paiement de la dot. Cette responsabilité ne se présume pas, comme la première, mais elle est d'une mise en jeu facile et d'une preuve aisée. D'où il résulte (2), — et ceci est capital, — que la jurisprudence qui l'a sanctionnée, si elle a cru par là développer le système de l'art. 1569, a fait en réalité tout autre chose. Elle a étendu la responsabilité du mari, mais non pas la présomption de faute que ce texte fait peser sur lui.

Ce qui a produit la confusion, c'est que tous les arrêts que j'ai commentés jusqu'à présent s'accordent à exiger, conformément à la disposition de l'article 1569, que les dix années soient révolues, pour que la femme puisse prouver, par de simples présomptions de fait, la réalité du paiement de sa dot au mari.

Par ce côté, malheureusement, ces arrêts se rattachent encore au système de l'article 1569, alors qu'en réalité ils correspondent à une conception profondément différente du droit de la femme vis-à-vis du mari.

Cette conception n'apparaîtra dans tout son jour qu'un peu plus

(1) Je crois qu'il ne sera pas sans intérêt de reproduire ici les passages de l'arrêt où la Cour fait allusion à cette responsabilité : « Les difficultés que peut éprouver la femme à se faire délivrer une quittance sont souvent insurmontables, à raison de la contrainte morale qu'elle subit. Il était dès lors nécessaire de lui accorder une protection spéciale... L'art. 1569 offre un remède contre les suppressions ou soustractions de quittances, auxquelles la femme est plus exposée que ses parents. »

(2) M. Labbé avait déjà fait la même observation (Sirey, 1875, II, 202).

tard. Le 2 mars 1886 (1), la Cour de cassation dégagera, en effet, la théorie nouvelle du texte sur lequel elle a pris naissance, en écartant très logiquement la condition de l'expiration des dix années.

Ce nouvel arrêt achève l'évolution de la jurisprudence, et rétablit l'harmonie dans sa doctrine. Le système est désormais clair et complet, mais il ne se rattache plus à la présomption de l'art. 1569. Ce n'est pas une floraison nouvelle dont on a provoqué l'éclosion sur la tige ancienne. C'est une végétation différente et robuste qu'on a cultivée à l'ombre de l'autre.

L'ensemble est d'un bon effet, et la protection de la femme est assurée maintenant de tous côtés. Peut-être la jurisprudence a-t-elle ainsi complété la loi au lieu de l'interpréter : peut-être les raisons que j'ai données de son évolution paraîtront elles un peu subtiles, et d'une moindre valeur qu'un texte clair et précis. Je m'en excuse en observant encore qu'il me suffit dans ce travail de relever l'harmonie de ses décisions entr'elles, et de marquer les lois de son développement.

III. — Je reviens maintenant à la présomption de faute de l'art. 1569, pour en achever l'étude par l'examen de la dernière série de difficultés qu'il soulève. Jusqu'à présent, je n'ai mis en jeu que trois personnes, le constituant, la femme et le mari : j'ai volontairement écarté de ma discussion les tiers, dont les intérêts peuvent souffrir de la présomption de faute qui charge le mari : ces tiers sont les créanciers du mari. La femme peut-elle se prévaloir contr'eux du bénéfice de l'art. 1569, et se faire ainsi payer sa dot à leur détriment sans prouver directement que son mari l'a reçue ?

La difficulté n'a été soulevée qu'assez tard en jurisprudence. Dans l'hypothèse résolue le 24 août 1829 par la Cour d'Aix (2),

(1) Sirey, 1889, I, 319. « La femme peut établir, par la preuve testimoniale ou par présomptions, — dit l'arrêt, — la réception de sa dot par le mari, *dans tous les cas où ne se réalisent pas les circonstances qui autorisent la présomption de réception portée dans l'article 1569.* »

(2) Sirey, 1828-1830, II. 328.

[illegible]t sur les biens de son mari, [illegible]ement la Cour admit sa pré- [illegible]aut, mais la question ne se [illegible] créanciers hypothécaires du [illegible]e qu'elle eût été fondée vis- [illegible] Le 29 août 1838, il en fut [illegible]ssation (1). Les créanciers [illegible]antage à soutenir que l'art. [illegible]latif à ses rapports avec le [illegible]ant pas soulevée, il ne pou- [illegible] aucun doute sur l'applica-

[illegible]r de Cassation, du 17 no- [illegible] première ébauche de la nou- [illegible] émit cette idée « qu'on ne [illegible]ix ans (*sic*) à des créanciers [illegible]s, qui ne sont pas des suc- [illegible] bon d'ajouter que le mari [illegible] la femme fut écartée, mais [illegible] de l'arrêt qui fasse allusion [illegible]ns de citer. Il ne s'agissait [illegible] dot en argent, mais seule- [illegible]es, dont l'art. 1569 n'assure [illegible]ement et la restitution.

[illegible]ubli jusqu'en 1857. La Cour [illegible]soudre (4), la résout en fa- [illegible]mme, contre les créanciers [illegible]te complication suffit pour [illegible]ci plus longtemps sur l'arrêt

[illegible] I. 681.

de la Cour de Colmar, et pour m'autoriser à ne point y voir le point de départ de la jurisprudence récente à laquelle j'arrive maintenant.

Je le place à l'arrêt de la Cour de Nîmes, du 23 Mars 1866 (1), aux termes duquel il est permis à la femme d'invoquer la présomption de faute contre les créanciers hypothécaires de son mari en déconfiture. Deux ans plus tard, la Cour d'Angers (2) donne la solution contraire pour le cas où la femme est en présence des créanciers chirographaires de son mari en faillite. — Cette distinction entre les créanciers de la déconfiture et ceux de la faillite, a été maintenue depuis avec soin par la jurisprudence. Le 14 Août 1877, la Cour de Nîmes ne repoussera la prétention de la femme, au bénéfice des créanciers hypothécaires du mari en déconfiture, qu'à raison de la confusion, dans la personne de la femme héritière du constituant, de l'obligation de payer la dot et de la créance en restitution (3). Enfin, la Cour de Poitiers (4), pour justifier l'échec d'une prétention semblable contre les créanciers chirographaires de la faillite, allèguera dans les motifs de son arrêt, non-seulement l'insolvabilité du constituant, mais aussi la condition particulière que fait aux adversaires de la femme l'art. 563 du Code de Commerce.

Je puis indiquer maintenant la raison juridique de cette distinction que fait la jurisprudence entre les créanciers de la déconfiture et ceux de la faillite, et que je crois, pour ma part, absolument conforme à l'esprit du Code Civil.

Les créanciers de la déconfiture sont les ayant cause du mari, dit la Cour de Nîmes le 23 Mars 1866, et la péremption de l'art. 1569 produit son effet à leur égard comme à l'égard du mari. — A première vue, l'idée ne paraît pas heureuse : la

(1) Sirey, 1866, II, 315.
(2) Angers, 23 Décembre 1868, Sirey, 1869, II, 194.
(3) Nîmes, 14 Août 1877. Sirey, 1878, II, 111.
(4) Poitiers, 21 juin 1881. Dalloz, 1882, II, 224.

Cour semble confondre les créanciers chirographaires du mari avec ses créanciers hypothécaires, première équivoque ; — et la responsabilité du mari avec la présomption qu'il a encouru cette responsabilité, seconde équivoque. — Le reproche n'est pas fondé : si elle a fait une ellipse un peu forte, il suffit de développer son raisonnement, pour en apercevoir la justesse.

La responsabilité du mari peut être invoquée par la femme aussi bien contre les créanciers hypothécaires que contre les créanciers chirographaires, bien que la qualification d'ayant cause paraisse convenir à ces derniers seulement. La négligence du mari fait naître à sa charge une dette d'un chiffre égal à celui de la constitution dotale dont il n'a pas exigé le paiement. Cette dette est garantie par l'hypothèque légale, qui remonte, en pareil cas, au jour du mariage, et prime à ce titre celles que le mari a ultérieurement conférées. Les créanciers hypothécaires du mari, postérieurs au mariage, sont dès lors ses ayant-cause, tout aussi bien que ses créanciers chirographaires, et la femme peut se prévaloir contre eux de la négligence de leur débiteur à exiger le paiement de la dot.

Enfin, ce ne sont pas seulement les conséquences de cette négligence que les uns et les autres doivent subir. La présomption légale de cette négligence leur est opposable également, puisqu'elle résulte d'un acte antérieur du mari, le contrat de mariage. La seule question qui pourrait s'élever serait celle de savoir si la femme conserve le droit d'invoquer l'art. 1569, lorsque les futurs époux n'ont pas déclaré à l'officier de l'état-civil que leur contrat de mariage contenait adoption du régime dotal (1). Cette difficulté n'en est pas une: à supposer, ce qui est douteux, que la présomption de faute de l'art. 1569 soit particulière à ce régime (2), elle ne figure pas au nombre des règles que le défaut de déclaration défend à la femme d'opposer aux

(1) Art. 1391, Loi du 10 juillet 1850.
(2) Je réserve l'examen de cette question pour une autre étude.

tiers (1). La femme ne subit les conséquences du défaut de déclaration qu'autant qu'il s'agit pour elle de se défendre contre ses propres actes et non pas contre ceux de son mari.

Le système de la jurisprudence me paraît donc absolument fondé en droit, au moins en ce qui concerne les divers créanciers du mari en déconfiture. Comment se fait-il maintenant que cette doctrine si nette et si harmonieuse ne s'applique pas à l'hypothèse où les adversaires de la femme sont les créanciers de la faillite ?

La raison n'en est pas seulement dans la précision de l'art. 563 du Code de Commerce, qui ne permet à la femme d'établir sa créance hypothécaire contre le mari que par une preuve écrite résultant d'un acte ayant date certaine. — On peut indiquer en outre, et il est bon de le faire, les motifs particuliers auxquels a obéi la jurisprudence en appliquant avec tant de fermeté l'art. 563.

La condition de la femme d'un commerçant n'est pas la même que celle d'une autre femme. C'est une conséquence de la profession du mari qu'elle a choisi, qu'il ait toujours des dettes. Elle a dû réfléchir à cela en l'épousant, à supposer même qu'il ne fût pas encore dans le commerce : il avait au moins l'intention d'y entrer, puisqu'il y est entré dans l'année de son mariage, et qu'il n'avait aucune profession quand il s'est marié ; c'est l'hypothèse de l'art. 563. La conscience que devait avoir la femme des dangers qu'elle courait ne permet donc pas qu'on maintienne à son profit les mesures de protection que les femmes des non-commerçants trouvent dans le droit commun. Elle ne peut reprocher à son mari sa négligence à poursuivre le débiteur de la dot où à conserver pour elle la preuve du paiement que celui-ci en a fait. Sans doute, son mari doit veiller à ses intérêts; mais elle est tenue plus encore d'y veiller elle-même, et elle peut le faire.

(1) Voy. Aubry et Rau, V, 251, § 603, note 17.

Elle obtiendra du constituant dont elle doit hériter l'indication du lieu où elle trouvera, quand la succession s'ouvrira, la quittance qu'elle doit représenter. Si elle paie elle-même, et qu'elle craigne que son mari fasse disparaître la quittance sous seing privé qu'il lui donnerait, elle exigera une quittance notariée. En pareil cas, ce qu'on lui demande est facile à faire, et sa négligence n'aurait pas d'excuse.

Mais comment s'y prendra-t-elle pour compenser par sa vigilance la négligence plus grave de son mari à poursuivre le débiteur de la dot ? Elle a les mains liées, elle ne peut agir elle-même, puisque son mari la représente et dispose des actions dotales. — Il ne serait pas imposible de répondre que l'art. 563 libère les créanciers de la faillite, non pas des suites de la négligence du mari, mais seulement de l'art. 1569 qui la présume : qu'il suffira dès lors à la femme d'établir directement qu'elle souffre de cette négligence pour retrouver le bénéfice de son hypothèque légale. La jurisprudence n'a pas eu à se prononcer encore sur ce point, et je me garderai de substituer à son autorité mon avis (1). Je me bornerai à faire ob-

(1) Je puis tout au moins indiquer en note que j'écarte sans hésiter la prétention de la femme. — A supposer qu'elle conserve le bénéfice de son hypothèque légale pour la garantie des autres indemnités que son mari peut lui devoir pour la mauvaise gestion de sa fortune dotale, il me paraît difficile, en présence de l'art. 563, qui n'admet à l'ordre la créance en restitution qu'autant qu'elle est établie par un acte ayant date certaine, d'attacher l'hypothèque légale à une créance en indemnité qui représente précisément la constitution dotale, et dont la preuve ne peut résulter d'un pareil acte. — La même solution me semble commandée par l'esprit de la loi. C'est pour éviter toute collusion entre la femme et le mari, qu'on exige une preuve indéniable du paiement de la dot. Si la femme conservait le droit d'agir en indemnité contre son mari, pour une somme égale à la dot qu'il a négligé de se faire payer, ne pourrait-elle pas, le plus souvent, donner un secret assentiment à l'inaction du mari, sans qu'il fût possible aux créanciers de prouver son intention frauduleuse et d'en éviter l'effet ? — Enfin, et ceci est décisif, le bénéfice de l'hypothèque légale est certainement refusé à la femme dont la dot a été réellement payée, si le paiement n'en est pas établi par un acte ayant date certaine (Voy. l'arrêt précité de la Cour d'Angers, du 23 décembre 1868, Sirey, 1869, II. 194.) Cependant la séparation de biens ne lui rend pas son action contre le constituant, et l'émolument de la dot

server que si elle devait repousser jamais cette prétention nouvelle de la femme, la conséquence pratique serait très remarquable. Si l'inaction prolongée du mari se réunissait à la probabilité de l'insolvabilité future du constituant, pour mettre la dot en péril, de telle sorte que la femme pût craindre de n'être payée de sa dot ni par l'un ni par l'autre, elle aurait, je pense, le droit d'agir immédiatement en séparation de biens, pour retrouver, avant l'insolvabilité complète du constituant, l'exercice personnel de l'action en paiement de la dot.

La parfaite équité de l'application de la loi commerciale à la femme du failli me paraît clairement ressortir des observations que je viens de présenter. Il suffit qu'elle ait un peu d'énergie pour se défendre, et ce n'est pas sans raison qu'on suppose qu'elle en a.

Encore n'est-elle pas trop durement punie de sa faiblesse. L'art. 563 se borne à lui enlever le bénéfice de son hypothèque légale, et la jurisprudence ratifie la mansuétude du texte en laissant à la femme une créance chirographaire en restitution contre son mari. Elle établira le paiement de sa dot en se conformant au droit commun de la preuve : il suffira qu'elle représente une quittance écrite sans date certaine, ou que le mari avoue (1). C'est donc au moins une créance chirographaire en restitution qu'elle a contre lui, et les motifs de l'arrêt de la Cour de Colmar impliquent même qu'elle conserverait à défaut de cette créance une créance chirographaire en indemnité, non-seulement pour le cas où elle établirait directement la négligence antérieure de son mari à poursuivre le constituant, mais encore pour le cas où elle ne fournirait pas cette preuve, si d'ailleurs les deux conditions de l'art.

profite indirectement aux créanciers, dont il accroît le gage. Comprendrait-on que la femme, déchue en pareil cas du bénéfice de son hypothèque légale, conservât cette hypothèque dans l'hypothèse où l'argent du constituant n'a pas augmenté l'actif commun ?

(1) Colmar, précité, 2 février 1857. Sirey, 1857. II, 681.

1569 se trouvaient réunies. En un mot, dès qu'elle se présente comme créancière chirographaire, elle retrouve contre les créanciers de la faillite, aux termes de l'arrêt de la Cour de Colmar, la condition que lui fait l'art. 1569 au regard de son mari ou des créanciers de sa déconfiture.

Et la conséquence pratique est bien remarquable. Il peut arriver que la créance chirographaire en indemnité ou en restitution dont je viens de parler, soit invoquée par l'héritier mineur de la femme décédée, et que le tuteur de cet héritier soit le mari. Une nouvelle hypothèque légale vient alors garantir le droit de l'héritier mineur, et l'art. 563 n'en limite pas l'effet. L'art. 563 vise l'hypothèque légale de la femme sur les biens de son mari, mais non pas celle du mineur sur les biens de son tuteur. La créance de la femme décédée retrouve donc, dans la personne de son nouveau titulaire, ce qu'elle avait perdu dans la personne de l'ancien, et les créanciers de la faillite subissent l'entier effet d'une réclamation qu'ils ne subiraient pas si elle émanait de la femme (1). — Il est bien vrai que l'hypothèque légale de la femme remonterait au jour du mariage, et que celle du mineur ne remonte qu'au jour de l'ouverture de la tutelle : qu'importe pour les créanciers de la faillite, s'ils ne deviennent créanciers hypothécaires qu'après le second de ces deux évènements (2) ?

J'ai ainsi terminé, avec l'étude de la responsabilité du mari créancier de la dot, l'examen de sa condition juridique au point de vue de la constitution de dot. — Ici déjà il nous apparaît comme un administrateur, au sens précis du mot, et c'est à ce titre que l'exercice de son action contre le constituant ou ses ayant-cause

(1) Colmar, précité, 2 février 1857.

(2) Art. 490 du Code de Commerce. — On peut rapprocher de cette hypothèse une hypothèse analogue, où la présence d'inscriptions intermédiaires entre le jour du mariage et celui de l'ouverture de la tutelle atténue singulièrement le droit de l'héritier mineur. (Voyez Aubry et Rau, III, 305, § 269, texte et note 19.)

est parfois impossible, — qu'il peut contribuer, en sens inverse, à l'anticipation du paiement de la dot, — et qu'enfin son droit exclusif à exiger et à recevoir ce paiement, fait naître à sa charge une responsabilité d'autant plus lourde que son objet est double, et que la loi en présume dans un cas la naissance.

CHAPITRE II

Du recouvrement des créances dotales

La nature de son titre va se préciser encore si nous envisageons les actions qui lui appartiennent à l'occasion des meubles dotaux. Les seuls de ces meubles dont j'aie intérêt à m'occuper ici, parce que ce sont les seuls dont les tribunaux aient eu à s'occuper eux-mêmes, sont les créances dotales. — Sans doute, la constitution de dot en argent, à laquelle j'ai consacré mes développements antérieurs, est aussi une créance dotale. Mais c'est une créance dotale d'un caractère particulier, ce qui m'a permis de la détacher des autres, pour l'étudier avant elles. Le constituant en assume en effet la charge en vue du mariage, et c'est du contrat anténuptial qu'elle naît. Celles que j'envisage maintenant apppartiennent ou appartiendront à la femme indépendamment de la constitution de dot. Elle est créancière d'un tiers avant son mariage, et elle fait entrer cette créance dans sa dot : ou bien, elle s'est constitué tous ses biens en dot, et il arrive, pendant le mariage, qu'un tiers s'engage envers elle *donationis causâ*, ou qu'elle trouve des créances dans une succession qui lui est dévolue.

La poursuite de ces divers droits appartient au mari, comme lui appartient déjà celle de la constitution de dot. Il peut seul agir contre le débiteur, et recevoir de lui un payement valable. Il assume en retour une responsabilité analogue à celle que la constitution de dot fait peser sur lui. Je dois par conséquent, pour maintenir la symétrie de mon exposition, m'arrêter,

comme je l'ai fait plus haut, à ces trois points de vue, pour dessiner de ce côté sa condition juridique.

Elle s'accuse plus nettement encore ici que là. J'ai dit que la jurisprudence envisageait le mari, dans ses rapports avec le débiteur de la dot, comme un administrateur des droits de de la femme. Il en est de même dans ses rapports avec les tiers débiteurs des créances dotales, et cependant le caractère général des arrêts dont j'ai maintenant à m'occuper n'est pas le même que celui des arrêts dont j'ai présenté antérieurement l'explication. Tandis que ces derniers ont eu ordinairement pour objet de restreindre les pouvoirs du mari, et d'aggraver sa responsabilité, la tendance de la pratique, dans ceux dont j'aborde l'étude, a été plutôt d'augmenter ses pouvoirs, sans toucher à sa responsabilité. — Je dois expliquer, au début de ces développements, cette apparente contradiction des arrêts, sauf à prier mes lecteurs de vérifier eux-mêmes ultérieurement l'exactitude de l'explication que j'en donne.

Les pouvoirs du mari sur la créance dotale née de la constitution de dot étaient assez étendus pour que la jurisprudence n'eût pas à les étendre davantage. L'illusion n'était pas trop forte à le prendre pour un créancier personnel de la constitution de dot, et le rôle de la jurisprudence consistait plutôt à faire apparaître, au fur et à mesure des hypothèses qui se présentaient devant elle, la moindre énergie de son véritable titre. — Il faut au contraire un effort de l'esprit pour se figurer que le mari soit personnellement investi d'une créance dotale à la naissance de laquelle il n'a pas concouru, et l'on serait tenté plutôt de le considérer, dans ce cas, comme un pur administrateur des biens dotaux, comme un mandataire dont les pouvoirs sont perpétuellement renouvelés par l'adhésion de sa femme aux actes qu'il fait. Cette conception trop étroite de son rôle devait être, et a été en effet, écartée par la jurisprudence, qui s'est constamment opposée à l'ingérence de la femme dans l'adminis-

tration dotale, et semble dès lors avoir accru d'autant les pouvoirs du mari. C'est là qu'est l'illusion. En réalité, la jurisprudence a purement et simplement transporté, dans les limites du possible, aux pouvoirs du mari sur les créances dotales, la conception générale qui lui a servi à déterminer ses pouvoirs sur la constitution de dot. Dans l'un et dans l'autre cas, le mari est un administrateur, un mandataire irrrévocable de la femme : ses pouvoirs sont très larges, sans qu'il devienne pour cela créancier personnel des débiteurs des créances dotales.

Abordons maintenant le détail des arrêts, dont l'étude confirmera pleinement, je l'espère, les observations que je viens de présenter.

I.

I. — Je n'insisterai pas longtemps sur l'hypothèse où les époux ont adopté le régime dotal pur et simple. La pratique n'a révélé jusqu'à ce jour aucune difficulté sérieuse dans ce cas, et je remplacerai l'énumération des droits qui appartiennent au mari à l'effet de recouvrer le montant des créances dotales, par cette formule générale, qui se comprend et se défend toute seule, que toutes les voies lui sont ouvertes pour atteindre ce but. — J'indiquerai, à titre d'exemple, un arrêt de la Cour de Caen (1), du 20 juin 1827, d'où il résulte qu'il peut agir contre les tiers détenteurs des immeubles hypothéqués à la garantie de la créance dotale, et surenchérir sur le prix de ces immeubles saisis, sans que l'adhésion de sa femme lui soit nécessaire à cet effet. Il peut prendre, en un mot, toutes les mesures que sa femme pourrait prendre elle-même.

Ses droits paraissent à ce titre analogues aux droits d'un cessionnaire, et la Cour de Caen semble ratifier, dans les motifs

(1) Sirey, 1825-1827, II, 379.

de son arrêt, cette conception de son titre (1). J'ai tout lieu de croire que l'expression de la Cour a trahi sa pensée, et qu'elle eût écarté, à cette époque ancienne, la conception dont je parle, s'il se fût agi d'en consacrer une conséquence dans le dispositif de son arrêt. La preuve en est qu'une Cour voisine, a évité, deux ans plus tard, d'invoquer cette conception à l'appui d'une doctrine qui semble cependant se justifier plus aisément par elle que par toute autre (2).

A supposer d'ailleurs que cette conception ait été celle de la jurisprudence à son début, — et il est d'autant plus difficile de l'admettre, qu'elle a écarté de très bonne heure une conception analogue de la condition du mari dans ses rapports avec le constituant, — elle s'en est sûrement détachée quelques années plus tard. L'analyse d'un arrêt de la Cour de Nîmes, du 25 juin 1851 (3), m'en fournira la preuve.

Le cessionnaire ordinaire d'une créance n'en est investi, au regard des tiers, que par la signification de la cession au débiteur cédé, ou par l'acceptation de ce débiteur dans un acte authentique. Plus spécialement, il ne peut exécuter ce dernier, à supposer que le titre primitif du droit cédé soit un acte authentique, que si la même signification lui a été faite, ou qu'il ait accepté la cession dans un acte quelconque (4). — Ce système s'appliquerait évidemment aux rapports du mari et du débiteur de la créance dotale, si le mari était un cessionnaire : la Cour de Nîmes a précisément refusé de lui en faire l'application, en ajoutant, dans les motifs de son arrêt, que les pouvoirs du mari, « très larges à l'encontre de la femme,

(1) « On doit regarder le mari comme ayant été *approprié*, par le fait de son mariage, de la créance de sa femme... ».

(2) Paris, 28 mars 1829, Sirey, 1828-1830, II, 240 (doctrine de la validité de l'aliénation des créances dotales.)

(3) Sirey, 1851, II. 494.

(4) Art. 2124. — L'acte authentique n'est pas nécessaire. Voy. Aubry et Rau, VIII, 468, § 778, note 48.

ne le constituent pas véritable cessionnaire... à l'encontre du débiteur, de la somme dont il poursuit le recouvrement ». Ces quelques mots résument trop bien la doctrine à laquelle s'est arrêtée la jurisprudence, pour que j'essaye d'y rien ajouter.

II. — Si je n'ai pas eu de peine à me débarrasser du cas où le contrat de mariage contient adoption pure et simple du régime dotal ordinaire, je dois étudier au contraire avec soin la seule difficulté qui se soit élevée sur l'hypothèse où les conjoints ont modifié le régime dotal dans leur contrat. La solution donnée par la Cour de Grenoble à cette difficulté, résulte, je crois, de la conception générale dont je viens de vérifier plus haut les deux termes ; j'ajoute qu'elle y paraît plutôt contraire à première vue.

Il arrive souvent que la femme ne laisse au mari le droit de poursuivre les débiteurs dotaux, qu'à charge par lui de faire emploi des sommes qu'il touche. Ces débiteurs sont responsables du défaut d'emploi : si l'emploi n'est pas fait, ils restent obligés envers la femme. Elle se réserve ainsi une garantie nouvelle contr'eux, en dehors de l'hypothèque légale incessible que le Code et la jurisprudence lui confèrent sur les biens de son mari, pour assurer la restitution de sa dot mobilière inaliénable. Je me borne à indiquer en deux mots le système, en faisant observer qu'il se résume en une limitation conventionnelle des pouvoirs du mari, et qu'à ce titre je dois m'en occuper ici même, en indiquant les conséquences du défaut d'emploi au regard du mari.

Quand le débiteur paye au mari le montant de la créance dotale, sans en exiger l'emploi, comme il y est tenu par le contrat de mariage, il n'est pas libéré envers la femme : d'où il semble résulter que le mari peut agir de nouveau contre lui, et le contraindre à payer une seconde fois, comme la femme pourrait le faire elle-même, si la séparation de biens lui rendait immédiatement l'exercice de ses actions. Représentant légal de

la femme au regard des tiers, le mari peut exercer tous les droits qu'elle exercerait elle-même, si elle était séparée.

On peut indiquer, à l'appui de ce raisonnement, une hypothèse qui présente une réelle analogie avec celle que j'envisage, et dans laquelle on ne conteste plus que le mari puisse agir immédiatement, dans l'intérêt apparent de sa femme. Je dirai bientôt que le mari peut exercer l'action en nullité de l'aliénation de l'immeuble dotal inaliénable qu'il a vendu : n'est-ce pas une raison de croire qu'il puisse agir également contre le débiteur dotal, bien que ce débiteur ait déjà payé une première fois, si l'emploi n'a pas été fait? Les deux situations se ressemblent : — dans les deux cas le mari a personnellement fait un acte qu'il ne devait pas faire; il ne devait pas vendre, et il a vendu; il devait faire emploi, et il ne l'a pas fait : — dans les deux cas, les tiers sont menacés; la vente consentie à l'acheteur est frappée de nullité; le paiement qu'a fait le débiteur ne l'a pas libéré. Pourquoi dès lors contrarier ces ressemblances par une différence inexplicable et fortuite, en refusant au mari le droit d'exiger du débiteur un second paiement, tandis qu'on lui permet d'agir en nullité de la vente? (1)

C'est cependant ce qu'a fait la Cour de Grenoble, par son arrêt du 28 juillet 1866 (2), dont l'étude minutieuse est d'autant plus nécessaire, qu'il paraît sanctionner une limitation légale

(1) Il existe une hypothèse plus voisine encore de celle où je suppose l'omission de l'emploi des deniers dotaux : je veux parler de l'hypothèse où le contrat de mariage confère au mari le droit d'aliéner personnellement l'immeuble dotal à charge de remploi, et où il aliène cet immeuble sans remployer. Dans l'un et l'autre cas, il peut faire un certain acte sous une certaine condition : il peut aliéner l'immeuble, à condition d'en remployer le prix; il peut recevoir les deniers dotaux, à condition d'en faire l'emploi. — Mais la question de savoir s'il peut agir en nullité de l'aliénation de l'immeuble, quand il a négligé de remployer, n'est malheureusement résolue par aucun texte, et l'arrêt de la Cour de Grenoble indique même dans ses motifs qu'il faut la résoudre contre le mari. Je préfère dès lors m'en tenir au cas plus simple où il a vendu l'immeuble dotal entièrement inaliénable. Je retrouverai d'ailleurs bientôt la difficulté soulevée par le système du remploi.

(2) Sirey, 1866, II. 137.

des pouvoirs généraux du mari, qui s'ajouterait à la limitation conventionnelle que la clause d'emploi leur fait déjà subir. Si tel était le sens de l'arrêt de 1865, il aurait troublé gravement l'évolution de la jurisprudence, et l'harmonie de son développement. J'espère établir qu'il n'en est rien : je plaiderai ce double paradoxe, que la Cour de Grenoble, en refusant au mari le droit d'agir de nouveau contre le débiteur de la créance dotale, a plutôt accru ses pouvoirs qu'elle ne les a diminués ; qu'en tous cas, son refus s'explique par les mêmes raisons qui justifient la concession de l'exercice de l'action en nullité de l'aliénation de l'immeuble dotal au mari.

On oublie en effet que si le mari ne peut exiger un second paiement du débiteur de la créance dotale, c'est que le premier paiement a libéré ce débiteur dans ses rapports avec le mari. La validité du premier paiement au regard du mari est la conséquence indéniable de l'impossibilité où on le met d'agir de nouveau contre le débiteur de sa femme. Dès lors, on lui rend d'un côté ce qu'on lui enlève de l'autre, et c'est un précieux privilège pour lui que de pouvoir toucher le montant de la créance dotale, en substituant à l'emploi que le contrat de mariage lui enjoint de faire, la responsabilité future du débiteur envers la femme seule.

Il faut indiquer tout de suite comment cette substitution peut se justifier en droit. La Cour de Grenoble allègue à l'appui de sa décision deux motifs, dont je ne veux retenir actuellement que le premier. Elle applique à l'emploi des deniers des débiteurs dotaux ce principe, consacré par de nombreux arrêts, que le remploi du prix d'un immeuble dotal aliénable sous cette condition, peut être utilement accompli au moins jusqu'à la dissolution du mariage. Le débiteur dotal, poursuivi de nouveau par le mari, est fondé à ce titre à lui répondre : il n'est pas prouvé que le paiement que je vous ai fait ne m'ait pas libéré envers votre femme ; cela ne sera vrai, et je ne serai obligé

à payer une seconde fois, que si vous ne faites pas le remploi que vous pouvez encore faire. Mon obligation n'est pas irrévocablement éteinte, c'est vrai, mais elle est devenue, à tout le moins, par le seul effet de ce paiement, conditionnelle : je suis désormais obligé sous la condition suspensive que vous n'effectuerez pas le remploi (1).

La justesse de ce raisonnement du débiteur se confirme, si nous poursuivons l'analyse de la condition que fait au mari la clause d'emploi. Elle diffère beaucoup de celle que lui fait l'inaliénabilité de l'immeuble dotal, quand il le vend, et c'est ici le lieu de reprendre cette comparaison des deux cas, qui n'est pas si défavorable qu'on le croirait de prime abord (2) à la solution de la Cour de Grenoble. — Quand le mari vend

(1) Il me paraît d'ailleurs incontestable que le débiteur n'est fondé à tenir ce langage qu'autant que le contrat de mariage ne l'oblige pas à exiger du mari un emploi immédiat. Le rapprochement que fait la Cour de Grenoble entre l'emploi des deniers dotaux et le remploi du prix de l'immeuble dotal me paraît impliquer cette conclusion. Car le remploi ne peut être différé qu'autant que le contrat de mariage ne contient pas de clause formelle qui s'y oppose. J'observe en terminant, que, dans l'hypothèse du 28 juillet 1865, rien n'indique, à mes yeux, que le remploi dût être immédiat. M. Labbé en juge autrement (Sirey, 1866, II, 138, 1re col.)

(2) Il faut bien avouer que le second motif qu'allègue maladroitement la Cour à l'appui de sa doctrine est de nature à faire illusion sur ce point : « Le mari, dit-elle, ne peut se prévaloir de sa propre faute, pour exiger une seconde fois le paiement de la même dette. » On est irrésistiblement amené à répondre qu'en cas d'aliénation de l'immeuble dotal, tout le monde admet qu'il peut se prévaloir de sa propre faute pour agir en nullité ; que, par conséquent, s'il est en faute pour n'avoir pas opéré le remploi, il doit pouvoir également se prévaloir de cette faute à l'effet d'exiger un second paiement : c'est le raisonnement de M. Labbé dans la note précitée (Sirey, 1866, II, 137, 3e col.). Il suffit, pour l'écarter, de faire observer que le mari n'est point réellement en faute de n'avoir pas fait l'emploi, puisqu'il pouvait en différer l'exécution. Sans doute, il se prévaut et il peut se prévaloir de sa faute quand il agit en nullité de la vente qu'il a faite, parce qu'il a commis, en effet, une faute en la faisant. Mais il ne saurait être question pour lui de se prévaloir de sa faute pour demander au débiteur dotal un nouveau paiement, parce qu'il n'a pas réellement commis de faute en recevant le premier dans les conditions où il l'a reçu. Il n'y a dès lors aucune contradiction à lui conférer l'action en nullité de l'aliénation de l'immeuble, puisqu'il a commis une faute en l'aliénant, — et à lui refuser, en même temps, le droit de réclamer un nouveau paiement, puisqu'il n'a commis aucune faute en recevant le premier.

l'immeuble dotal, il fait un acte auquel il ne pourra jamais assurer d'effets définitifs : le pouvoir de confirmer cet acte n'appartiendra qu'à sa femme, à l'époque où la dotalité aura pris fin (1). Il en est tout autrement, lorsqu'il reçoit du débiteur de sa femme une somme dont il devrait faire et dont il ne fait pas l'emploi. Il dépend de lui que cet acte prenne ultérieurement le caractère définitif qu'il aurait immédiatement pris si l'emploi eût été fait. — On comprend dès lors que les pouvoirs généraux dont il est investi lui confèrent des droits différents dans les deux cas. La vente qu'il a faite excédait absolument ses pouvoirs, dont il ne fait réellement usage que lorsqu'il demande la nullité de cette vente. Au contraire, il a fait usage de ses pouvoirs en touchant la somme due sans en faire emploi, et dès lors, en lui conférant une action nouvelle en paiement de cette somme, on méconnaîtrait le caractère du paiement antérieur qu'il a reçu. Ses pouvoirs généraux, s'ils comprenaient le droit de poursuivre de nouveau le débiteur, lui serviraient ainsi à modifier les conséquences de l'usage antérieur qu'il a fait d'eux. Le nouvel usage qu'il en ferait, impliquerait qu'il n'est pas tenu d'obéir, dans l'administration des biens dotaux, à l'esprit de suite sans lequel il n'y a pas d'administration. C'est un principe de bon sens, dont la procédure civile n'a pas le monopole (2), que lorsqu'une personne a choisi l'une des deux voies qui s'ouvraient devant elle, pour atteindre un certain but, il ne lui est plus possible de l'abandonner et de prendre l'autre. Le mari, qui pouvait choisir, avant tout paiement, entre l'emploi immédiat et l'emploi ultérieur, et qui a préféré ce dernier parti, n'a plus aucun titre pour revenir

(1) Elle pourra confirmer l'aliénation, bien que cette aliénation n'émane pas d'elle. Sans doute, la vente de l'immeuble dotal a été consentie *a non domino* : mais il n'en résulte pas, d'après la jurisprudence, qu'elle soit absolument nulle au regard de la femme. (Cass. 1 mars 1870, Sirey, 1870, I. 199.)

(2) *Electâ unâ viâ, non datur recursus ad alteram.*

sur sa première décision, et pour contraindre le débiteur à l'emploi immédiat d'une nouvelle somme.

On me répondra sans doute que cette interprétation de la clause d'emploi est défavorable à la femme. — A supposer qu'il en soit toujours ainsi, et je ne le crois pas, c'était à elle à stipuler, en contrat de mariage, la garantie plus énergique de l'emploi immédiat. Lorsqu'elle n'a pas eu la précaution de le faire, les démarches nouvelles du mari contre le débiteur dotal ne s'expliqueraient que par son intérêt et son intervention. Elle jouerait ainsi près du mari le rôle d'un surveillant occulte, et d'autant moins qualifié à cet effet que l'esprit du régime dotal n'est pas de l'associer à l'administration de l'apport qu'elle a fait (1). Il serait plus naturel et plus franc, sans aucun doute, de lui permettre, avant toute séparation de biens, d'exiger elle-même un nouveau paiement du débiteur de la dot. C'était en effet sa prétention, dans l'hypothèse du 28 juillet 1865, dont les détails confirment ainsi, avec la précision des faits, les observations que je viens de présenter sur elle. Ai-je besoin d'ajouter que l'art. 1549 empêchait absolument que cette prétention pût triompher?

Ce n'est pas tout, et je dispose d'un autre moyen pour établir qu'il n'y a point à se préoccuper de l'intérêt de la femme, dans la discussion que je poursuis. — J'ai montré tout à l'heure qu'il n'y a rien de contradictoire à conférer au mari l'action en nullité de l'aliénation de l'immeuble dotal, en lui refusant toute action nouvelle en paiement de la créance dotale. Je puis ajouter maintenant que la contradiction consisterait justement à lui conférer l'une et l'autre de ces actions. — On allègue l'intérêt de la femme pour l'investir de la seconde,

(1) Il en est autrement sous le régime de la communauté, où cela résulte, comme l'a si bien montré M.Gide, à la fin de son livre sur la *Condition de la femme*, de la pleine liberté qu'elle a d'affranchir de son hypothèque légale les immeubles communs.

comme si la concession de la première s'expliquait par le même intérêt, ce qui n'est pas. Si le mari peut invoquer la nullité de l'aliénation de l'immeuble dotal, ce n'est point parce que sa femme y a intérêt, puisque l'imprescriptibilité de l'immeuble, à défaut de toute concession de l'exercice de l'action en nullité au mari, la garantirait déjà ; c'est parce qu'un acte que le mari est impuissant à rendre définitif ne saurait limiter ses droits actuels sur le fonds dotal : puisqu'il ne peut ratifier cet acte, on ne saurait le contraindre à en subir l'effet. C'est dans son intérêt (1) par conséquent que l'action en nullité lui est conférée, ce n'est pas dans l'intérêt de la femme. N'est-il pas étrange dès lors qu'on s'autorise du droit qu'il a d'agir dans son intérêt pour lui concéder, par voie d'analogie, une action nouvelle en paiement de la créance dotale, que l'interêt de la femme pourrait seul au contraire expliquer ?

Aussi bien, la vraie protection de la femme contre l'infraction du mari à la clause d'emploi se trouve-t-elle ailleurs. Il est visible qu'elle n'a rien à craindre s'il a des immeubles, sur le prix desquels elle peut venir en ordre utile : elle retrouvera ainsi, à l'époque où la restitution de sa dot lui sera due, la somme que son mari a touchée sans l'employer. Mais il est peu probable que ce cas soit fréquent : une femme ne stipule ordinairement la clause d'emploi, dans son contrat de mariage, qu'à cause de l'insuffisance des garanties immobilières que son mari lui offre. L'obligation éventuelle de son débiteur à payer de nouveau lui tient justement lieu de ces garanties : si son mari est insolvable et que l'emploi n'ait pas été fait entre l'époque du premier paiement et celle de la restitution de la dot, elle agira contre ce débiteur ; la condition sous laquelle il devait rester son obligé s'est en effet réalisée. Voilà l'hypothèse normale, où la clause d'emploi produit tout son effet, dans les termes mêmes où la femme l'a stipulée.

(1) Son intérêt comme chef du ménage, bien entendu.

Mais il peut se faire, — et c'est alors que la concession d'une action nouvelle au mari contre le débiteur paraît nécessaire à la sécurité de la femme, — que ce débiteur s'achemine vers l'insolvabilité. S'il y est arrivé quand la femme aura retrouvé le droit de se retourner contre lui, le montant de la créance dotale sera définitivement perdu pour elle. — Ce n'est pas une raison pour déroger aux principes en conférant à la femme le droit de poursuivre le débiteur. Pour échapper au danger, il lui suffira de précipiter, par une demande en séparation de biens, l'échéance à laquelle son mari lui doit la restitution de sa dot. L'insolvabilité cumulée du débiteur et du mari met sa dot en péril : on ne peut lui refuser la séparation de biens. (1)

Sa demande en séparation ne peut s'expliquer sans doute que par l'intention où elle est de se substituer à son mari, dont l'infraction à la clause d'emploi lui préjudicie, et il semble que cette demande soit exposée à ce titre à subir le même reproche que j'adressais tout à l'heure à la prétention de la femme d'agir elle-même directement contre son débiteur avant toute séparation. — Le rapprochement n'est pas exact, et l'objection ne porte pas. Par la demande en séparation de biens, la femme critique l'ensemble de l'administration de son mari, et l'usage qu'il a fait de ses pouvoirs généraux : le défaut d'emploi du montant de la créance dotale est un simple fait qu'elle allègue à l'appui de sa prétention ; de plus, elle a son mari pour adversaire. Ce double caractère de sa demande ne se rencontre pas dans l'action qu'elle dirigerait personnellement contre son débiteur avant toute séparation. C'est un acte particulier du mari qu'elle se bornerait à critiquer, et sa critique s'adresserait à un tiers qui n'a qualité ni pour l'entendre, ni pour y répondre. Il n'y a dès lors aucune difficulté à lui refuser une action de ce genre en lui ouvrant la voie de la séparation de biens,

(1) Nous avons rencontré déjà une hypothèse analogue. *Suprà*, pag. 39.

pour la préserver contre le double péril de l'insolvabilité probable de son mari et de l'insolvabilité prochaine de son débiteur.

J'ai ainsi indiqué successivement pourquoi le mari est impuissant à poursuivre de nouveau ce débiteur et quelles garanties la femme conserve pour le recouvrement de la somme dont l'emploi n'a pas été fait. — Il me reste pour achever l'étude de l'arrêt de 1865, à mettre en lumière l'intérêt que présente pour le mari la doctrine qu'il sanctionne et à marquer la place importante que cette doctrine occupe dans la théorie générale de ses pouvoirs.

J'ai déjà dit que le refus d'une action nouvelle au mari contre le débiteur implique, dans ses rapports avec ce débiteur, la validité du premier paiement qu'il en a reçu. Cette faculté qu'il a de diviser la validité du paiement, de recevoir un paiement libératoire en ce qui le concerne, et sans effet définitif en ce qui concerne la femme, agrandit singulièrement les pouvoirs que lui confère le régime dotal, et que la clause d'emploi paraît mutiler. C'est un moyen pour lui de trouver du numéraire disponible en dépit d'elle, pour sortir peut-être d'une crise, insoluble sans l'ingénieux procédé que veut bien accepter le débiteur. Ce débiteur estime que la promesse du mari qu'il effectuera ultérieurement l'emploi constitue pour lui une garantie équivalente à l'emploi immédiat. Il ne veut pas lui prêter la somme dont il a besoin : ce prêt, justement, ne l'affranchirait pas de la poursuite ultérieure du mari, et s'il consent à rester éventuellement obligé envers la femme, il veut au moins se libérer provisoirement dans les mains de son représentant. — Je puis supposer, au lieu d'une crise dans les affaires du mari, qu'on lui offre une spéculation avantageuse, dont la réussite exige qu'il ait l'argent à la main : cet argent, c'est le débiteur dotal qui le fournira. S'il existe une société entre les époux, la femme va participer aux bénéfices

de l'acte ; — le débiteur lui-même peut y être intéressé : s'il engage dans cette opération l'argent qu'il doit, la chance peut le favoriser au point qu'il joigne de beaux dividendes à sa libération définitive. (1)

Reste une dernière difficulté que je puis résoudre en deux mots. Des auteurs considérables (2) se sont demandé si le débiteur dotal, après un paiement qui n'a pas été suivi d'emploi, ne pourrait pas judiciairement exiger du mari qu'il fît cet emploi. — Je crois que la solution dépend essentiellement des circonstances de fait qui ont accompagné et caractérisé le paiement. Si tout s'est passé comme je l'ai supposé plus haut, il y a un véritable engagement du débiteur à laisser le mari en paix. Cet engagement peut être plus ou moins étroit, et s'opposer plus ou moins fortement ou plus ou moins longtemps à l'exercice d'une action qu'il me paraît nécessaire au contraire de conférer au débiteur pour le cas où il n'a point entendu lier son sort au succès des opérations du mari.

Je puis conclure maintenant, je crois, que la doctrine de l'arrêt de 1865, bien loin d'achever la mutilation que la clause d'emploi fait subir aux pouvoirs du mari, l'atténue plutôt et la répare. L'initiative hardie qu'elle permet au mari de prendre, pour sortir d'une crise difficile ou pour entamer une spéculation avantageuse, est l'évidente preuve que la clause d'emploi des deniers dotaux constitue pour la jurisprudence une garantie

(1) On me répondra sans doute que ce dernier avantage que j'attribue à la doctrine de l'arrêt de 1865 se retourne contr'elle, et prouve l'inanité de ma thèse. — Le régime dotal, dira-t-on, n'est pas un régime de spéculation : c'est méconnaître l'esprit de l'institution que d'y introduire une idée qui lui est naturellement étrangère. — L'observation n'est pas fondée, car si le régime dotal répugne d'ordinaire aux spéculations des époux, la raison en est que de pareilles spéculations feraient courir de sérieux dangers à la fortune dotale de la femme. Comme elle est précisément garantie contr'eux, dans l'hypothèse que j'envisage, par la permanence de l'obligation de son débiteur, et le suprême recours de la séparation de biens, l'objection qu'on me fait ne porte pas.

(2) Rodière et Pont, *Traité du Contrat de mariage*, Edition de 1869, III, 274, n° 1707.

éventuelle des droits de la femme, sans apporter une limitation actuelle aux pouvoirs du mari.

II

L'arrêt de la Cour de Grenoble me fournit une transition naturelle pour aborder l'étude du paiement des créances dotales. — C'est en effet le caractère juridique du paiement non suivi d'emploi que j'ai invoqué pour dénier au mari toute action nouvelle contre le débiteur dotal, et si cette conséquence de la doctrine que renferme l'arrêt ne m'eût obligé à rattacher l'examen de cet arrêt à la théorie des actions dotales, c'est ici même que j'aurais dû lui faire une place. Les graves difficultés qu'il soulève étant résolues, les développements spéciaux que je dois fournir sur le paiement des créances dotales seront très brefs.

I. — Ils le seront tout particulièrement dans l'hypothèse où les époux n'ont pas modifié le régime du Code. La jurisprudence ne fournit sur elle aucun document intéressant, et c'est un procès-verbal de carence que je me borne à dresser, en ajoutant d'ailleurs que l'inventaire ne sera guères plus riche dans l'hypothèse inverse.

Je relève un premier arrêt du 19 aout 1857 (1), où s'accuse avec beaucoup de finesse le caractère des pouvoirs que la jurisprudence reconnaît au mari sur les biens dotaux. Voici l'espèce : la femme était en compte-courant avec un tiers avant son mariage : le compte-courant s'était continué depuis, et d'importantes remises avaient été faites au mari. Si, de la balance du compte à l'époque où ces remises avaient eu lieu, il fût résulté que la femme était réellement créancière d'une somme égale au montant de ces remises, le mari, dit la Cour, aurait eu le droit de les recevoir ; le fait du mari aurait

(1) Cass. 19 aout 1857, Sirey, 1858. I, 142.

suffi à les faire passer, de la colonne de l'actif de la femme, à celle de son passif : en deux mots, le tiers eût été libéré envers elle d'autant. Mais il se trouvait précisément qu'un solde égal au montant de ces remises ne ressortait pas au profit de la femme de la balance du compte au jour où elles s'étaient produites. Ce n'était donc point à titre de paiement que le mari les avait reçues, puisqu'il n'y avait pas de créance qui leur correspondît : on lui avait simplement fait une avance. Les sommes en question devaient-elles figurer dès lors au passif de la femme, de telle sorte que les créances qui s'inscriraient ultérieurement à la colonne de l'actif en fussent d'avance diminuées d'autant ? L'affirmative eût impliqué que le mari peut, non-seulement recevoir le paiement des créances réelles de sa femme, mais aussi l'obliger actuellement en prévision des créances futures qu'elle acquerra. La Cour de Cassation ne l'a pas pensé : les sommes reçues par le mari à valoir sur l'actif ultérieur de la femme dans le compte-courant n'obligent pas la femme et n'entrent pas dans le compte-courant.

La solution qu'elle a donnée à cette hypothèse est très nette, et sauf à indiquer tout à l'heure quels traits elle ajoute à la physionomie des pouvoirs du mari, elle se comprend toute seule. — Il n'en est pas de même des faits sur lesquels elle est intervenue. L'arrêt ne fournit aucun renseignement sur les clauses du contrat de mariage qui régissait les biens des époux ; mais il est nécessaire, à mon avis, pour construire l'espèce, de supposer qu'ils avaient modifié le régime dotal du Code. Comment comprendre, en effet, l'ingérence du mari dans un compte-courant, où peuvent entrer des créances de toute provenance de la femme avec le tiers avec lequel elle est en compte, sans admettre que cette femme s'est constitué tous ses biens en dot ? Comment comprendre enfin l'existence même d'un compte-courant qui peut se clore par un solde à la charge de la femme

pendant son mariage, sans admettre que cette femme s'est réservé la pleine faculté de s'obliger sur ses biens dotaux ? Bref, il me semble que nous sommes en présence d'un cas de constitution universelle, sans dotalité.

Ceci posé, je dois insister avec soin sur la distinction que fait la Cour entre les remises dont la valeur était représentée, au jour où le mari les a reçues, par un crédit égal de la femme, et celles qui escomptaient ce crédit futur. La Cour accepte l'admission des premières au débit de la femme ; elle refuse d'y faire entrer les autres, le mari ne pouvant, dit-elle, obliger sa femme sans son consentement.

Si je crois cette seconde branche de la distinction conforme à la théorie du compte-courant, il n'en est pas tout à fait de même de la première. Alors même qu'un crédit égal aux remises reçues par le mari existerait au profit de la femme au jour où il les reçoit, elles ne cessent pas de constituer des remises, et une remise n'est pas un paiement. Toute créance qui figure dans un compte-courant, « y perd son individualité propre (1) de telle sorte qu'elle ne peut désormais faire l'objet d'un paiement proprement dit. La remise est portée purement et simplement au crédit de celui qui la fait et diminue d'autant son débit, sans être affectée spécialement à l'extinction de telle créance déterminée ». Le solde seul peut faire l'objet d'un paiement véritable, et il suppose la clôture du compte-courant.

Par conséquent, même dans le cas où il existe, au profit de la femme, un crédit égal à cette remise, le jour où le mari la reçoit, ce mari oblige sa femme en la recevant. Si dès lors ses pouvoirs lui permettent de la recevoir, c'est qu'ils lui permettent, aux yeux de la jurisprudence, de recevoir plus et mieux qu'un paiement. La formule doctrinale qui traduirait le mieux l'arrêt de 1857 est celle-ci : le mari peut recevoir le paiement

(1) Boistel. *Revue Générale*. 1883, pag. 224. 225.

des créances dotales de sa femme, parce qu'il peut, en général, réaliser la valeur de ces créances, quand elles reposent distinctement et définitivement sur sa tête. — Cette observation peut servir à éclairer vivement la doctrine de l'aliénation des créances dotales par le mari.

Je puis maintenant résumer les développements que je viens de consacrer à l'arrêt de 1857, et conclure, comme je l'ai fait précédemment sur l'arrêt de 1865 : il est aussi favorable aux pouvoirs du mari que ce dernier l'était lui-même. — La Cour de Grenoble donne au mari le droit de diviser la validité du paiement d'une créance dotale, en différant l'emploi. Un peu avant, la Cour de Cassation l'avait autorisé à réaliser la valeur d'une créance dotale par un acte qui n'est point un paiement, et qu'elle validait néanmoins à ce titre.

Un second rapprochement s'impose entre l'arrêt de 1857 et celui de 1865. L'un et l'autre, en effet, sont empreints de cette idée que les pouvoirs du mari n'impliquent pas qu'il soit entièrement substitué à sa femme dans l'exercice de ses droits. L'arrêt de 1865 lui refuse une action qui naîtrait au profit de sa femme si elle était séparée de biens. L'arrêt de 1857 ne lui permet pas d'obliger ultérieurement sa femme, comme elle pourrait s'obliger elle-même dans ce cas, par la réception d'une remise dont la valeur ne figure pas encore à son crédit (1).

II. — Au point où j'en suis parvenu de mes développements, c'est une question facile à résoudre que celle de savoir si le paiement des créances dotales au mari doit avoir acquis date certaine avant la fin de ses pouvoirs pour être libératoire envers la femme. Le mari est son représentant : elle l'a constitué en contrat de mariage son mandataire *cum liberâ* ; les actes qu'il peut faire sont réputés faits par elle, d'où il suit qu'ils font foi de leur date contr'elle. Je ne connais pas d'arrêt

(1) La même idée se retrouve dans un arrêt plus récent. (Cass. 12 mars 1888. Sirey, 1888, I. 309.

qui ait tranché la question à l'occasion du paiement d'une créance dotale : mais j'en puis citer un dont les motifs impliquent la vérité générale de la solution que je donne à cette hypothèse particulière, et que les principes généraux confirment absolument. (1)

Le débiteur de la femme est donc libéré par le paiement qu'il a fait au mari, alors même que ce paiement n'aurait point reçu date certaine avant la dissolution du mariage, ou la séparation de biens. C'est le droit commun du régime dotal. — Mais la femme peut modifier à ce point de vue la loi matrimoniale et stipuler de son mari en contrat de mariage non seulement qu'il devra donner date certaine aux paiements qu'il recevra des débiteurs dotaux, mais encore qu'il devra faire dresser quittance authentique de ces paiements. — La difficulté consiste à fixer l'effet d'une pareille clause. Faut-il y voir une garantie que la femme se réserve contre ses débiteurs, à telle fin qu'elle n'aît jamais à redouter qu'ils payent à son mari insolvable après la dissolution du mariage ou la séparation de biens, en antidatant la quittance, — ou seulement un moyen de faciliter la liquidation de ses reprises dans ses rapports avec son mari ? De ces deux interprétations, la seconde a pour effet principal d'imposer au mari une obligation, tandis que la première limite en tous cas ses pouvoirs. On pressent déjà la solution de la jurisprudence : elle choisira l'interprétation la plus favorable au mari et sanctionnera la libération du débiteur malgré l'inobservation de la clause dont je parle, sous une condition que je vais indiquer (2).

(1) Cass., 1 juillet 1863, Sirey, 1863, I. 333. — Je veux dire seulement que la question ne s'est pas présentée en pratique d'une manière aussi nue que je la pose au texte : les arrêts que je cite à la page suivante se réfèrent à une hypothèse plus complexe et confirment d'ailleurs pleinement, par leurs motifs, la solution que je viens d'indiquer.

(2) Lyon, 25 janvier 1831. Sirey, 1832, II. 589. — Cass. (mêmes parties) 28 nov. 1833 (Sirey, 1833, I. 830.)

Supposons que la créance dont le mari a reçu le paiement, sans en faire dresser quittance authentique, sans même donner date certaine à la quittance sous seing privé qu'il a délivrée au débiteur, soit constatée dans un acte authentique, ou résulte d'un acte authentique. Si la jurisprudence voyait dans la clause qui m'occupe une garantie réservée par la femme à elle-même contre son débiteur, la quittance insuffisante que ce débiteur tient du mari ne le libérerait point envers elle. Comme elle préfère y voir un moyen pour la femme de faciliter la liquidation de ses reprises contre le mari, et que l'acte authentique d'où résulte la dette suffit à cet effet, le débiteur est libéré (1).

On peut se demander seulement s'il resterait obligé dans l'hypothèse contraire, où sa dette résulterait d'un acte sous seing privé, — de telle sorte que l'origine authentique de sa dette fût la condition de sa libération par une quittance sous seing privé, sans date certaine avant la dissolution du mariage ou la séparation de biens. L'arrêt de la Cour de Lyon ne le dit pas, et paraît même ne pas l'admettre, si l'on s'arrête à l'incidence que j'ai soulignée dans la note qui précède. La clause qui m'occupe réglerait alors uniquement les rapports de la femme et du mari, sans aggraver en aucun cas la situation du débiteur, bien que cette permanence éventuelle de sa dette envers la femme, dans les conditions que j'ai fait connaître, fût la sanction la plus naturelle de l'obligation que le contrat de mariage imposait au mari.

On peut sans doute imaginer une autre sanction pour tenir lieu de celle que je viens d'indiquer et qu'il est probable que la Cour de Lyon n'eût pas sanctionnée : la clause que la femme a stipulée ne fonctionnant jamais qu'entr'elle et son mari,

(1) « Une semblable stipulation, *particulière au mari vis à vis de sa femme*, devient sans objet, quand celle-ci peut établir d'une autre manière, et par des titres authentiques, le montant de ces reprises. » — (Arrêt précité de la Cour de Lyon, 25 janvier 1831.)

aurait au moins pour effet d'élargir à son profit la liberté de la preuve de ses reprises contre lui, dans le cas où les créances qu'il a touchées proviendraient d'une succession à elle échue au cours du mariage ; à défaut d'un inventaire authentique de cette succession, ou d'une série de quittances authentiques des créances dotales provenant de cet actif et recouvrées par le mari, la femme pourrait établir par tous moyens, et par commune renommée au besoin, la consistance de cet actif ou la quotité de ces créances. Je n'y vois qu'une difficulté : c'est que le droit commun lui confère déjà ce privilège (1), et que la clause dont je parle, si tel est son objet, se réduit à rien.

Quoi qu'il en soit, et quelque sanction qu'on attache à l'inobservation de cette clause par le mari, l'interprétation que la Cour de Lyon lui a donnée me paraît bien étrange et bien remarquable. Qu'elle atteigne exceptionnellement les tiers ou ne les atteigne jamais, l'intention probable des parties n'en est pas moins méconnue dans les deux cas. Les parents de la femme et le notaire, pour donner, j'imagine, meilleure figure au style du contrat de mariage, avaient ajouté au texte une finale sans importance apparente : « Le mari sera tenu.... *pour en assurer la restitution à qui de droit.* » Je ne sais si je me trompe, mais cette incidence banale n'aurait pas suffi à mes yeux pour transformer une clause que les parents de la future, encore mineure, avaient stipulée à son profit, en un pur moyen de liquidation de ses reprises dotales contre son mari. Les conséquences de cette interprétation sont des subtilités de juristes ; elle n'étaient sûrement pas entrées dans la pensée des parties (2). Cette observation me permet en tous

(1) Aubry et Rau, § 535, note 30, — § 540, note 17. — (V, 553, 628.)

(2) Il est à peine besoin de relever ici la validité d'une clause qui subordonnerait la libération du débiteur dotal, dans ses rapports avec la femme, à la confection d'une quittance authentique, où à la délivrance d'une quittance sous seing-privé qui devrait avoir acquis date certaine avant l'époque

cas de clore mes développements, en ramenant l'attention sur le caractère général et permanent de la jurisprudence, qui préfère toujours aux larges routes les sentiers non frayés, si leurs subtils détours lui permettent de respecter le domaine quiritaire des droits et des pouvoirs du mari.

III.

J'aborde maintenant l'examen de la responsabilité que son droit exclusif à poursuivre les débiteurs dotaux fait peser sur le mari. Représentant légal de sa femme, il doit à ce titre, comme tout administrateur du patrimoine d'autrui, apporter une certaine vigilance dans son administration. S'il laisse courir, sans l'interrompre, la prescription libératoire au profit des débiteurs dotaux, s'il attend leur insolvabilité pour les poursuivre, s'il confie à des intermédiaires suspects le soin de recouvrer des sommes que ces intermédiaires dévorent, sa faute l'oblige envers sa femme, et celle-ci retrouve sur ses biens, en administrant la preuve de cette faute, la valeur qu'elle a perdue. Telle est la physionomie générale du système, dont j'achèverai de fixer les traits par l'étude des trois questions suivantes, que j'ai d'ailleurs implicitement résolues dans les lignes qui précèdent : 1° Quel est le fondement de la responsabilité du mari ? — 2° Quelle en est la mesure ? — 3° Qui doit prouver qu'elle est encourue ?

I. — Le fondement de la responsabilité du mari est son droit exclusif à poursuivre les débiteurs dotaux. On pourrait dire, en exagérant l'expression, que les créances de la femme, du jour du mariage, sont représentées dans son patrimoine par l'éventuelle responsabilité du mari sur ses propres biens.

de la restitution de la dot. Je sais bien que c'est empirer la situation de ce débiteur par l'effet d'un acte auquel il est étranger. Mais on peut faire le même reproche à la clause d'emploi, et cependant il n'est plus douteux aujourd'hui qu'elle produise effet à l'encontre du débiteur lui-même.

Cette responsabilité, corrélative aux pouvoirs dont le contrat de mariage l'investit, se développe ou s'atrophie avec eux. Si donc un empêchement légal s'oppose à leur exercice, la responsabilité qui les accompagne disparaît. La créance périt, la femme a pu en toucher régulièrement et en a dissipé le montant : le mari n'est point engagé à réparer les conséquences d'un acte qu'il ne dépendait pas de lui d'empêcher. On peut comparer, dans ce cas, le frein purement légal qui a paralysé le mari et arrêté son intervention, au cas fortuit qui éteindrait la créance de la femme en en détruisant l'objet.

La question s'est présentée, le 6 mars 1866, devant la Cour de Cassation. (1) La femme dotale était d'origine anglaise. Parmi les biens qu'elle s'était constitué en dot, figuraient des créances à recouvrer en Angleterre. A supposer que la loi anglaise de l'époque n'admît pas que le mariage de la femme anglaise avec un étranger pût entraîner pour cette femme la perte de la nationalité anglaise en Angleterre, — à supposer encore que la même loi permît à cette femme, restée anglaise pour elle, de toucher personnellement et contre la volonté de son mari étranger, les créances qu'elle possédait en Angleterre, — la responsabilité du mari était dégagée si elle les touchait. N'ayant aucun moyen légal d'empêcher le débiteur anglais de sa femme de la payer en Angleterre, il n'était plus responsable de la dissipation de la somme touchée dans ces conditions par sa femme. La solution ne faisait aucun doute, et la Cour de Cassation l'a nettement indiquée.

Mais la question était de savoir si la loi anglaise disposait comme je l'ai dit. Elle n'eût même pas été soulevée, si le mari, dans l'espèce que j'analyse, avait été Anglais aux yeux de la loi anglaise : son droit à poursuivre le débiteur n'eût pas été

(1) Sirey, 1866, I. 253.

douteux (1). — La difficulté résultait dès lors uniquement de la qualité de Français qui lui appartenait d'après la loi anglaise comme d'après la loi française : néanmoins cette qualité ne l'empêchait pas de poursuivre en Angleterre le débiteur dotal anglais, la condition juridique des créances mobilières étant réglée, d'après la loi anglaise (2), par la loi du domicile du créancier, qui n'était autre que la loi française. — Ce point de droit fut établi devant la Cour de Rouen, saisie du renvoi, qui ne manqua pas d'en tirer cette conséquence, que le mari était responsable envers sa femme de la somme qu'elle avait indûment touchée. (3).

II. — Cet arrêt de la Cour de Rouen me conduit à indiquer la mesure de la responsabilité du mari, et le degré de vigilance qu'il doit apporter au recouvrement des créances dotales. — J'y trouve en effet la preuve de cette idée, que, dans le système de la jurisprudence, le mari est tenu de sa faute, même légère. Il est difficile de voir une faute lourde, pour employer l'ancienne terminologie, dans sa négligence à vérifier les prescriptions du droit anglais, et particulièrement à surveiller d'assez près les actes d'un créancier anglais pour que ce créancier obéisse aux exigences de la loi française (4).

(1) La condition de la femme dans le droit anglais, avant l'acte libéral du 9 août 1870, est assez connue pour que je n'essaye pas de l'analyser ici. Voy. Ribot, *Bulletin de la Société de Législ. comparée*, Déc. 1871, pag. 6 — et Glasson, *Histoire du droit et des institutions de l'Angleterre*, VI, 184 et suiv., et les autorités citées à la note.

(2) C'était là une question de droit international privé résolue par la loi anglaise : cette question de droit international privé, transformée ainsi en une question de droit interne anglais, devenait une pure question de fait par rapport à l'application de la loi française interne au mari considéré comme administrateur de la dot. — C'est dire que j'ai dû me placer, dans tous ces développements, à un point de vue tout différent de celui où je me placerais, si j'avais à me prononcer rationnellement sur la seule question des droits respectifs du mari et du débiteur dotal anglais.

(3) Rouen, 22 mai 1867, *Revue du notariat*, 1867, 922.

(4) L'arrêt de la Cour de Rouen constate bien que le mari se trouvait en Angleterre « à une date contemporaine du paiement, » et qu'il avait dû assister à la réception des créances dotales dont sa femme lui demandait le rem-

Les motifs d'un arrêt antérieur de la Cour de Bordeaux, du 20 mars 1854, déféré à la Chambre des Requêtes et maintenu par elle (1), confirment cette doctrine dans une hypothèse intéressante.

La femme était créancière d'une personne domiciliée aux colonies. Le mari, que son éventuelle responsabilité ne pouvait cependant pas contraindre à faire un si long voyage pour toucher la créance, en confia le recouvrement à un tiers, comme l'y autorisait le droit commun de l'art. 1994, auquel n'avait pas dérogé le contrat de mariage. La somme fut payée, mais avant qu'elle eût passé des mains du tiers dans celles du mari, le premier tomba en déconfiture. La femme reprochait à l'ayant cause universel du mari la négligence de son auteur, qui aurait dû ne confier ses intérêts qu'à un mandataire absolument impeccable. La Cour de Bordeaux rejeta sa demande, mais en relevant avec soin tous les faits d'où il résultait que le mari n'avait pu connaître, au jour où il s'était substitué ce mandataire, l'état peu rassurant de ses affaires. Son insolvabilité ultérieure était un cas fortuit : la responsabilité du mari n'était pas engagée, car la femme n'avait pas même une faute légère à lui reprocher.

Je n'insisterai pas davantage sur cet arrêt, si les motifs qui le précèdent ne m'offraient encore la matière d'une intéressante observation. Tout le monde sait qu'on peut apprécier la faute légère de deux façons. Tantôt on compare le débiteur d'une chose au type abstrait du *studiosus paterfamilias*, qui ne commettrait pas la faute qu'on reproche à ce débiteur d'avoir commis : on dit alors de ce débiteur qu'il est tenu

boursement. — Je ne conteste pas que, dans l'hypothèse de 1867, ce double trait rendît sa faute plus grave, et sa conduite suspecte. — Mais la suite des motifs de l'arrêt indique, à n'en pas douter, que la Cour eût maintenu la même solution, malgré l'absence de ce double trait, et, par suite, malgré la moindre gravité de la faute du mari.

(1) Cass. 4 Décembre 1855, Sirey, 1856, I. 342.

de sa faute légère *in abstracto*. Tantôt on le compare à lui-même, et il n'est responsable que s'il a commis une faute légère qu'il ne commettrait pas dans la gestion de sa propre fortune : on dit alors qu'il est tenu de sa faute légère *in concreto*. On a précisément soutenu quelquefois que le mari n'était responsable envers sa femme (1) que des fautes qu'il ne commettrait pas si l'opération le concernait ; en un mot, qu'on devait apprécier *in concreto* sa faute légère. Le droit romain fournissait (2), on ne l'ignore pas, un précieux appui à cette doctrine. Quelqu'en soit la valeur, la jurisprudence y paraît contraire dans l'arrêt précité de la Cour de Bordeaux : la plus forte raison qu'elle donne de l'innocence du mari est en effet que le mandataire qu'il s'était substitué avait été choisi dans le même but par le père et la sœur de sa femme (3) : il eût été inutile d'aller chercher si loin, si la responsabilité du mari avait dû s'apprécier *in concreto*. Sans doute, ce petit détail ne suffirait pas à résoudre la difficulté dans le sens que j'indique. Mais il m'a paru intéressant de noter que l'arrêt de la Cour de Bordeaux n'est pas construit comme il faudrait qu'il le fût, si la jurisprudence entendait s'approprier le système romain que je rappelle plus haut.

Je termine les développements que je devais consacrer à la mesure de la responsabilité du mari dans le recouvrement des créances dotales, en observant que j'ai dû me borner, ici plus qu'ailleurs, à indiquer les tendances de la pratique, sans chercher à construire, avec les rares matériaux qu'elle m'offrait, une théorie précise et rigoureuse des fautes du mari. Je m'associe en effet aux jurisconsultes qui pensent que cette ma-

(1) Dotale ou commune en biens.

(2) Fr. 17, pr., *de Jure dotium*, (Dig. XXIII, 3) de Paul.

(3) La créance dotale dont le débiteur habitait les colonies provenait de la succession de la mère de la femme dotale, et s'était partagée entre les différents ayants-droit, parmi lesquels figuraient la femme, sa sœur et son père.

tière est avant tout matière de fait, et qu'il appartient aux magistrats d'étendre ou de modérer, suivant les cas, la responsabilité du débiteur. — Les deux arrêts que je viens d'analyser me paraissent à ce titre plus remarquables par eux-mêmes et par le détail des hypothèses qu'ils ont résolues que par la place qu'on pouvait leur assigner dans cette division.

III. — J'arrive maintenant à la question la plus attachante assurément de celles que j'ai promis d'étudier. C'est la question de savoir si et pourquoi la femme est tenue de prouver la faute du mari pour invoquer sa responsabilité.

Lorsqu'il s'agit pour elle d'obtenir de lui la restitution du montant de cette créance dotale que fait naître la constitution de dot, et qui présente à ce titre un caractère particulier, l'art. 1569 présume à son profit, sous la condition qu'un certain délai se soit écoulé depuis l'exigibilité de cette créance, la négligence du mari à la recouvrer. Le mari devient débiteur envers sa femme, à raison de sa faute, sans qu'il soit nécessaire que cette faute soit établie par elle. — Ni le Code, ni la jurisprudence n'ont étendu à la restitution du montant des créances dotales ordinaires le système que je viens de rappeler. Quand le mari n'a pas recouvré ces créances, et que l'insolvabilité du débiteur empêche la femme de le poursuivre elle-même avec fruit ultérieurement, il est permis sans doute à cette femme de reprocher sa négligence au mari, mais à charge par elle d en établir la réalité : la présomption de l'art. 1569 est limitée à la restitution d'une dot en argent (1).

Cela paraît à première vue peu logique. — J'ai rattaché en effet cette présomption de faute au titre du mari à exiger le paiement de la constitution de dot. La jurisprudence fait de lui un administrateur, et la présomption dont je parle se lie pour elle à cette qualité comme la conséquence au principe. Puisque cette qualité lui appartient sur les valeurs dotales comme sur

(1) Cass. 17 nov. 1845, *Journal du Palais*, 1845, II. 554.

la constitution de dot, pourquoi la présomption qu'elle entraîne dans ce dernier cas n'est-elle pas étendue au premier ?

La Cour de Cassation, dans l'arrêt que j'ai relevé, paraît en donner cette raison, — que l'art 1569 est fait pour les créances dont la quotité n'est pas douteuse, parce qu'elles résultent d'un acte qui s'impose : ce n'était pas le cas dans l'hypothèse du 17 nov. 1845, où les héritiers de la femme portaient à leur actif, dans le compte qu'ils rendaient aux créanciers de leur père, de sa succession bénéficiaire, la valeur *probable* des créances dotales de leur mère, en invoquant la présomption de l'art. 1569 pour établir que leur père était en faute de ne les avoir point recouvrées. La Cour écarta leur demande par une fin de non-recevoir, fondée sur l'incertitude des droits dotaux de leur mère, et l'auteur du rapport qui précéda l'arrêt, semble admettre que la présomption de faute aurait pu être invoquée, si un inventaire, dressé dans les formes prescrites par les art. 941 et 996 Cod. Proc. Civ., avait permis d'établir la quotité de ces droits dotaux.

Sans affirmer, sur la foi du rapporteur, que telle eût été l'issue de l'action, si l'inventaire dont je parle eût existé, il faut bien reconnaître que l'arrêt du 17 nov. 1845 n'a pas résolu *in terminis* la question que j'ai soulevée. Je suis dès lors tenu de rechercher les raisons qu'il y a de limiter l'art. 1569 au paiement de la constitution dotale, et d'établir que la jurisprudence ratifierait elle-même cette limitation du texte, si la difficulté se posait à nouveau devant elle.

Sans doute, il y a entre les deux cas cette ressemblance frappante, que le mari, à l'époque où il doit à la femme la restitution de toutes ces valeurs dotales, peut se borner à lui céder l'action qu'il a conservée contre le constituant ou le débiteur. Cette faculté résulte pour lui, lorsqu'il s'agit des créances dotales ordinaires, du texte même de l'art. 1567, — lors au contraire qu'il s'agit de la constitution de dot, de la jurisprudence que j'ai analysée

plus haut, et qui a étendu à cette hypothèse une solution faite pour le système de recouvrement des créances dotales ordinaires. — Dans l'un et l'autre cas, la responsabilité du mari est subsidiaire ; dans l'un et l'autre cas, elle ne le frappe qu'autant qu'il a commis une faute et qu'il a négligé d'agir en temps opportun : il échappe à toute obligation de restitution quand le constituant n'a pu le payer, ou quand la perte totale ou partielle de la créance dotale résulte d'un cas fortuit. — Mais, comme c'est à lui de prouver que le constituant n'a pu le payer, n'est-ce pas à lui également de prouver que la créance dotale a péri par cas fortuit ? Si tout se ressemble dans les deux hypothèses, et dans les règles qui les gouvernent, pourquoi la présomption de négligence de l'art. 1569 serait-elle faite pour la première seulement ?

Les raisons en sont faciles à indiquer. Je n'ai, pour le faire, qu'à opposer la condition du mari vis-à-vis du constituant à sa condition vis-à-vis des autres débiteurs dotaux. Une différence profonde sépare les deux situations. Il est aisé de justifier l'existence d'une présomption de faute à la charge du mari dans le premier cas : il participe en effet à l'acte d'où résulte le droit de la femme contre le constituant ; il connaît son débiteur futur, et peut vérifier avant le contrat de mariage, la solvabilité qu'il a et les garanties morales qu'il offre. En lui imposant rigoureusement l'obligation de se faire payer, on ne le charge pas d'un fardeau supérieur à ses forces.

Ce serait là, au contraire, l'écueil insurmontable auquel se heurterait l'extension de la présomption de faute aux rapports du mari avec les autres débiteurs dotaux. Il ne les connaît pas ; il n'a pas stipulé d'eux, qu'il s'agisse de créances dotales apportées par la femme au jour du mariage, ou de créances comprises dans les successions dotales qui s'ouvrent à son profit pendant le mariage. Le mari n'a pu, dans l'un et l'autre cas, juger les personnes dont la dette constituait l'apport qui

lui était fait. Il est dès lors impossible d'attacher cet effet à son acceptation de ces débiteurs, qu'il soit présumé en faute, si les valeurs dotales périssent.

Je ne vois dès lors aucune contradiction à le considérer comme un administrateur des valeurs dotales au même titre que de la constitution de dot, en limitant à ce dernier cas la présomption de l'art. 1569. Et la jurisprudence en jugera précisément comme je viens de le faire, quand la question se posera devant elle plus clairement qu'elle ne s'est posée le 17 nov. 1845. Je n'en veux pour preuve que l'arrêt de Cassation du 2 mars 1886 (1) qui rectifie la doctrine un peu embarrassée de l'arrêt de 1845, sur lequel je n'ai dû insister comme je l'ai fait, qu'à raison de ses réticences, et du trouble qu'il jetterait, s'il était mal compris, dans l'évolution générale de la jurisprudence dotale.

(1) Sirey, 1889, I, 319, *Suprà*, pag. 33.

CHAPITRE III.

De la revendication des Immeubles.

La dernière catégorie d'actions dont le mari est investi du chef de sa femme comprend les actions réelles immobilières qui sanctionnent, au pétitoire comme au possessoire, le droit de propriété de la femme sur les immeubles dotaux. L'étude de ces actions doit suivre naturellement celle des actions personnelles en paiement des différentes créances dotales. Elle sera plus courte, et ma tâche plus facile. Rien dans mes nouveaux développements ne correspondra aux explications que j'ai dû fournir sur le paiement volontaire des différentes créances dotales et sur la responsabilité que peut encourir le mari en négligeant de les recouvrer.

Ce qui rappelle de loin le paiement des valeurs dotales, c'est la restitution bénévole de l'immeuble dotal au mari par le tiers détenteur, et je n'ai rien de particulier à en dire. — Quant à la responsabilité du mari, fondée sur son droit exclusif à poursuivre le tiers détenteur, elle existe sans doute, mais quelle place modeste elle occupe dans la nouvelle théorie que j'aborde ! Qu'importe à la femme qu'il ne revendique pas? L'insolvabilité du tiers détenteur lui est indifférente, puisque son droit sur l'immeuble qu'il détient est un droit réel. J'ajoute qu'elle n'a pas davantage à redouter, au moins ordinairement, que l'usucapion de l'immeuble s'accomplisse au profit de ce tiers détenteur ; il n'en serait ainsi que dans le

cas où le mariage serait postérieur à l'*initium possessionis* (art. 1561) et dans celui où le contrat de mariage aurait permis sans condition l'aliénation de l'immeuble. Dans cette double hypothèse, il est bien évident que l'inaction du mari l'obligerait envers la femme. Je n'ai rencontré d'ailleurs aucun arrêt qui s'y réfère. — On peut soulever la même question dans un ordre d'idées un peu différent. Si, le plus souvent, la femme ne souffre pas, au pétitoire, des conséquences de cette inaction, il n'en est pas de même au possessoire. Le tiers détenteur de l'immeuble de la femme acquiert sans contredit les actions possessoires par un an de possession continue (art. 23, Cod. Proc. Civ., et 2228 et suiv. Cod. Civ.) : le mari les perd et la femme pareillement. Il peut en résulter pour elle un grave préjudice, dans le cas où elle échoue, faute d'une preuve suffisante de son droit, contre le tiers détenteur, défendeur à la revendication qu'elle dirige personnellement contre lui, après la dissolution du mariage ou la séparation de biens. Il ne serait pas impossible de considérer son mari comme responsable envers elle, si elle parvenait à prouver contre lui qu'elle eût triomphé comme défenderesse à la revendication, et que la perte de cette qualité, résultant de la perte des actions possessoires, lui est imputable. Je me borne à indiquer la question, qui ne s'est jamais présentée en pratique, et je conclus, sous le bénéfice des observations qu'on vient de lire, que le mari échappe, en général, à toute responsabilité fondée sur son inaction au pétitoire comme au possessoire.

La vraie source de sa responsabilité n'est pas là. C'est bien plutôt en agissant mal qu'en n'agissant pas du tout qu'il peut causer un dommage à la femme et s'obliger envers elle. Je dirai prochainement que la chose jugée entre le mari et le tiers détenteur d'un immeuble revendiqué par le mari comme immeuble dotal, l'est aussi entre ce tiers détenteur et la femme.

Dès lors, si le mari dispose mal ses preuves, qu'il revendique à la légère et qu'il échoue, il commet une faute dont la femme souffre, et encourt à ce titre une responsabilité envers elle : responsabilité dont la femme ne pourrait sans doute se prévaloir contre lui, que si la décision judiciaire, à laquelle s'attache l'autorité de la chose jugée, a passé de plus en force de chose jugée. S'il reste à la femme une voie de droit par où elle puisse atteindre encore son immeuble et l'enlever au tiers détenteur, le mari, quoiqu'en faute, n'est pas obligé de lui payer la valeur de l'objet en litige, puisque ce litige n'est pas irrévocablement terminé. Tout au plus sa faute antérieure, à laquelle est dû ce renouvellement du procès, l'obligerait-elle à indemniser la femme des menues dépenses qu'elle a dû faire dans ce but (1).

Tout cela est bien peu pratique, et le silence des arrêts le prouve assez. Mon but en présentant ces observations, que je dois arrêter ici, a été plutôt de dégager par voie d'élimination les questions sur lesquelles mon examen doit porter, que de prévoir et de résoudre des difficultés purement hypothétiques jusqu'à ce jour.

Les questions mêmes dont j'aborde l'étude sont d'un intérêt moins grand qu'on ne serait fondé à le croire, et il n'y faut pas chercher une compensation à la pauvreté banale de celles que je viens d'écarter de mes développements. Le système du Code est en effet trop bien arrêté sur ce point pour que la jurisprudence ait dû prendre à tâche de l'agrandir et d'en étendre l'effet.

Les art. 1549 et 1560 fixent les cas où le mari peut agir contre le tiers détenteur de l'immeuble dotal, et c'est en effet sur ce point seulement que je dois interroger les arrêts.

Je n'en connais pas qui se réfère à l'hypothèse où l'immeuble dotal est possédé par un tiers sans aucun titre émané

(1) Les frais du procès restant à la charge du tiers détenteur vaincu.

des époux. En pareil cas, il est tellement évident que le mari peut seul agir, que la jurisprudence n'a eu à le rappeler à personne. — Il n'en est pas de même dans celui où le tiers détenteur a obtenu de l'un des époux un titre d'ailleurs frappé de nullité. C'est à l'aliénation de l'immeuble dotal par la femme ou le mari que je fais allusion : j'ai quelques décisions de jurisprudence à indiquer à ce sujet, et je dois, pour en tirer le meilleur parti, les replacer dans le cadre uniforme d'une théorie générale.

I.

Je supposerai donc, en premier lieu, que l'immeuble dotal est tout à fait inaliénable, et qu'il est vendu par la femme.

Si elle vend sans l'autorisation de son mari, la vente est doublement nulle : elle a pour auteur une personne incapable, et pour objet une chose inaliénable. Aucun doute ne saurait s'élever sur le double titre du mari à en provoquer la nullité.

La solution ne change pas, si le mari la ratifie. Sa ratification fera disparaître la nullité fondée sur l'incapacité, sans toucher à celle que l'inaliénabilité produit. Son droit d'agir en nullité n'a pas disparu. — Je prévois une objection tirée de l'interprétation que j'ai donnée plus haut à l'arrêt de la Cour de Grenoble, du 28 juillet 1865 (1) : on se rappelle que cet arrêt déclare le mari déchu du droit de poursuivre une seconde fois le débiteur dotal, si l'emploi de la somme qu'il a payée n'a pas été fait. J'ai dit que l'une des raisons qui justifient cette solution, est que le paiement non suivi d'emploi reste un acte juridique d'administration, et qu'il est difficile d'admettre que le mari puisse revenir sur cet acte et renier ses conséquences, en poursuivant de nouveau le débiteur. —

(1) Voyez plus haut pag. 46 et suiv.

Pourquoi ne point appliquer ici la même idée? La ratification de l'aliénation de l'immeuble dotal est sûrement un acte juridique, dont le caractère licite est même plus évident que celui du paiement non suivi d'emploi. Pourquoi cet acte n'aurait-il pas l'effet d'enrayer absolument l'action en nullité du mari, — sans plus toucher à celle de la femme, pour l'époque de la dissolution du mariage ou de la séparation de biens, que le paiement non suivi d'emploi ne touche au droit essentiel de cette femme contre le débiteur, à la même époque? — J'ai déjà répondu plus haut que les deux hypothèses ne se ressemblent pas, et qu'il est faux de conclure de l'une à l'autre. Quand le mari ratifie l'aliénation de l'immeuble dotal, c'est en qualité de mari qu'il agit : c'est au contraire en qualité d'administrateur de la dot qu'il reçoit le paiement, comme je l'ai supposé. On comprend dès lors que ce serait bien vraiment lui permettre de se déjuger au cours de son administration, que l'autoriser à poursuivre de nouveau le débiteur dotal, — tandis qu'il en est autrement lorsqu'il agit en nullité de la vente qu'il a ratifiée, puisque ce n'est pas à titre d'administrateur de la dot qu'il l'a ratifiée (1).

Les développements que je viens de consacrer à l'hypothèse d'une vente de l'immeuble dotal ratifiée par le mari, me permettent de signaler, sans m'y arrêter, celle où il autorise la femme à vendre. Les mêmes raisonnements et la même solution s'y appliquent : il peut agir en nullité malgré l'autorisation qu'il a donnée.

Tels sont les principes du Code, et ils sont tellement clairs que la jurisprudence ne rèvèle pas qu'ils aient été contestés devant les tribunaux. J'ai dû seulement, pour conserver à mon exposition sa physionomie, rechercher les affinités lointaines et marquer la secrète harmonie de ces principes avec

(1) J'ai déjà fait ce rapprochement plus haut, et mes observations actuelles n'ont que la valeur d'un simple renvoi. (*Suprà*, pag. 49 et suiv.)

une décision remarquable de la jurisprudence elle-même dans un ordre d'idées voisin.

Mais les principes subissent ordinairement de telles érosions dans la vie des affaires, que c'est merveille ici que les tribunaux aient maintenu l'intégrité de leur jeu comme ils l'ont fait : on en jugera par l'exemple qui suit. Il y a des cas où l'aliénation de l'immeuble dotal est exceptionnellement permise : on peut notamment l'employer à établir un enfant commun (1). Mais il peut arriver, sous le bénéfice de distinctions que je présenterai ailleurs, que l'aliénation de l'immeuble dotal soit nulle même dans ces cas exceptionnels, et la question se pose alors de savoir si le mari qui a consenti à l'aliénation, comme le prescrit l'art. 1556, peut agir en nullité. La Cour de Grenoble n'a pas hésité à le lui permettre, par un arrêt du 4 août 1832 (2) : comme l'aliénation avait eu lieu en dehors des conditions normales qui auraient assuré sa validité, et que le mari était hors d'état de lui assurer jamais des effets définitifs, il avait excédé ses pouvoirs, en consentant qu'elle eût lieu ; son droit d'agir en nullité restait intact.

II.

Modifions maintenant l'hypothèse à laquelle sont consacrés les développements qui précèdent, et supposons que l'immeuble dotal est aliénable sous condition de remploi, mais qu'il est aliéné sans que le remploi ait lieu. L'aliénation est frappée de nullité : cette nullité peut-elle être invoquée par le mari? C'est une question que j'ai indiquée déjà, en m'occupant de l'arrêt de la Cour de Grenoble, du 28 juillet 1865, dont les motifs en contiennent la solution négative. Je ne crois pas qu'on doive imputer pour si peu cette doctrine à la jurisprudence, et la

(1) J'attache un sens précis à cette expression « employer » : je l'indiquerai dans une autre étude. — Je laisse ici de côté l'hypothèse de l'art. 1555.

(2) Sirey, 1833, II. 427.

ranger, si je puis dire, parmi les matériaux durables de l'édifice.

On se rappelle qu'il s'agissait, pour la Cour de Grenoble, d'arrêter l'action du mari contre le débiteur dotal qui l'avait payé une première fois sans exiger, comme le contrat de mariage l'obligeait à le faire, l'emploi des deniers versés. J'ai indiqué, au début de mes explications sur ce point, que le droit incontestable du mari à provoquer la nullité de l'aliénation de l'immeuble dotal inaliénable, semblait autoriser en pareil cas, par voie d'analogie, la poursuite nouvelle du débiteur dotal imparfaitement libéré, par le mari. Pour écarter cette analogie trompeuse, la Cour de Grenoble s'est bornée à opposer au mari que l'hypothèse où le débiteur dotal paye sans exiger l'emploi se rapproche de l'hypothèse où l'immeuble de la femme, aliénable sous condition de remploi, est aliéné sans que le remploi ait lieu, plutôt que de celle où cet immeuble est tout à fait inaliénable : or, disait-elle au mari pour lui fermer la bouche, la lettre de l'art. 1560 prévoit ce dernier cas seulement ; le texte n'est pas fait pour le cas où l'immeuble dotal est aliénable sous condition de remploi, et où il est aliéné sans que le remploi ait lieu. — Argumentation fausse à l'appui d'une solution juste : motif imaginé pour les besoins de la cause et la brièveté de l'arrêt, d'où il faut se garder, comme je vais le montrer, de tirer une doctrine ferme pour l'hypothèse du remploi.

En réalité, le mari peut critiquer l'aliénation de l'immeuble aliéné sans remploi, comme il peut critiquer l'aliénation de l'immeuble absolument inaliénable. Et pour donner tout de suite un fondement solide à cette doctrine, que je m'appliquerai ensuite à justifier avec soin, je citerai en sa faveur un arrêt de la Cour de Montpellier, du 8 février 1869, où la difficulté n'a même pas été soulevée, tant les principes commandent l'assimilation des deux cas (1).

(1) Sirey, 1869, II. 49. Le juge aurait pu et dû la soulever, sans encourir le reproche de statuer *ultrà petita*.

Sans doute, il y a cette différence irréductible entr'eux, que le mari est toujours impuissant à donner seul des effets définitifs à l'aliénation de l'immeuble dotal inaliénable, tandis qu'il peut ordinairement les assurer à l'aliénation de l'immeuble dotal aliéné sans emploi, car il est chargé, le plus souvent, d'opérer le remploi, — et l'on sait que le remploi peut être utilement accompli après l'aliénation qu'il confirme rétroactivement, tout comme la libération du débiteur dotal envers la femme peut résulter d'un emploi ultérieur des deniers qu'il a payés. — Par ce coté, je le reconnais, l'aliénation de l'immeuble dotal sans remploi, se rapproche du paiement de la créance dotale sans emploi, et l'on comprendrait à ce point de vue que l'action en nullité du mari fût écartée, comme l'est toute action nouvelle par lui dirigée contre le débiteur dotal imparfaitement libéré.

Mais cette ressemblance des deux hypothèses est immédiatement compensée et détruite par une différence plus radicale et plus profonde, qui réunit et rive en quelque sorte l'une à l'autre, pour leur faire un sort commun, l'aliénation de l'immeuble dotal sans remploi, et l'aliénation de l'immeuble dotal inaliénable.

Quand le mari reçoit le paiement du débiteur dotal sans réaliser l'emploi, il excède ses pouvoirs, mais il *use* de ses pouvoirs ; il agit comme administrateur de la dot et non comme mari. Lors, au contraire, qu'il autorise l'aliénation de l'immeuble dotal sans opérer le remploi du prix, c'est comme mari qu'il agit, ce n'est pas comme administrateur de la dot. Par conséquent, l'action en nullité qu'il dirige ultérieurement contre l'acquéreur, ne se heurte pas au reproche contre lequel vient se briser toute poursuite nouvelle intentée par lui contre le débiteur dotal. Celui-ci est fondé à lui répondre : en acceptant le paiement dans les termes où je l'ai fait, vous avez agi comme administrateur de la dot, et vous ne pouvez pas revenir, en la

même qualité, sur un acte que vous avez, bien ou mal, accompli à ce titre. — Pareille argumentation ne se conçoit pas dans la bouche de l'acquéreur de l'immeuble dotal. J'ai autorisé ma femme à vendre, dira le mari ; soit, j'ai agi comme mari, mais non pas comme administrateur, et c'est pour défendre la dot menacée que je vous poursuis aujourd'hui. J'ai oublié de remployer le prix, c'est vrai : mais *l'omission* du remploi n'est pas un *acte positif* d'administration.

La distinction qu'il fait entre ses deux titres n'est pas des moins subtiles, j'en conviens : mais je puis en reporter l'honneur et le danger à l'opposition tranchée du système de l'art. 1560 et de l'arrêt de la Cour de Grenoble, que j'ai déjà cité. S'il autorise la vente de l'immeuble inaliénable, c'est comme *mari* qu'il agit, et l'acquéreur est exposé à ses poursuites : s'il reçoit le paiement du débiteur dotal, c'est comme *administrateur* qu'il agit, et le débiteur échappe à ses poursuites, alors même que l'emploi n'aurait pas eu lieu. — Dans les développements qu'on vient de lire, je n'ai fait que prolonger le système, et propager à ses rouages secondaires l'impulsion que la jurisprudence et le Code ont appliquée de concert à son moteur essentiel.

Mais l'harmonie des deux mouvements n'en est pas moins visible. Car on est invariablement contraint d'en revenir à cette idée, que le mari, en agissant contre l'acquéreur de l'immeuble aliéné sans remploi, ne contredit aucun acte antérieur de son administration proprement dite, et qu'il ne saurait au contraire échapper à ce reproche, quand il poursuit le débiteur dotal après un premier paiement. C'est au même principe qu'a obéi la jurisprudence, en lui ouvrant contre le tiers détenteur, dans la première hypothèse, en lui refusant contre le débiteur, dans la seconde, un recours immédiat. Elle a développé ses pouvoirs et agrandi leur domaine : il peut agir en nullité, par la même raison qu'il peut recevoir un paiement impar-

fait et provisoire, qui lui interdit de poursuivre de nouveau le débiteur, dont l'obligation persiste au regard de la femme seulement.

J'appelle enfin l'attention sur l'observation qui suit. Quand l'immeuble dotal est aliéné pour établir un enfant, ou, plus généralement, pour acquitter une de ces dettes que prévoient les art. 1555 et suiv., l'opération ressemble, à s'y méprendre, à une aliénation de l'immeuble dotal suivie de remploi. J'ai déjà indiqué cette doctrine, et je la développerai dans une autre étude avec soin. Mais nous savons que le mari peut agir contre l'acquéreur de l'immeuble dotal ainsi aliéné, dans les cas exceptionnels où une aliénation de ce genre est frappée de nullité (1), plus juridiquement, quand les faits à raison desquels est intervenue cette aliénation, ne justifient pas la fiction de l'emploi qui seule peut l'expliquer. Par suite, en ouvrant au mari l'action en nullité de l'aliénation de l'immeuble dotal, quand le remploi qui devait la suivre n'a pas eu lieu, la Cour de Montpellier s'est purement et simplement conformée à la doctrine dont l'arrêt du 4 août 1832 avait déjà préparé la réussite, si l'on admet la parenté que j'indique entre les deux hypothèses de 1869 et de 1832.

Je me résume et je conclus. — le mari peut agir en nullité de l'aliénation de l'immeuble dotal en tous cas, lors même qu'il s'agirait d'un immeuble aliénable sous condition de remploi, et d'une aliénation de cet immeuble non suivie de remploi. — Il n'en serait autrement dans cette hypothèse, que si le contrat de mariage avait directement conféré au mari le pouvoir de vendre sans l'intervention de la femme, à charge par lui d'opérer le remploi du prix : sa condition juridique se confondrait alors avec celle que lui font les principes, quand il reçoit du débiteur dotal une somme qu'il doit employer, et qu'il n'emploie pas, — et je crois qu'il serait

(1) *Suprà*, Grenoble, 4 août 1832, Sirey, 1833, . 427.

aussi peu fondé à critiquer l'aliénation de l'immeuble qu'à poursuivre de nouveau le débiteur dotal. Aucun de mes raisonnements ne s'applique à cette hypothèse, que la jurisprudence n'a d'ailleurs jamais eu à résoudre (1).

III.

Je puis aborder maintenant l'examen du cas très différent où l'aliénation de l'immeuble dotal est opérée par le mari, sans que le contrat de mariage lui ait conféré aucun titre à cet effet. La solution n'est jamais douteuse, et je ne suppose même pas que l'immeuble soit inaliénable.

Quels que soient les termes de l'aliénation, que le mari ait vendu l'immeuble comme sien, qu'il l'ait vendu comme appartenant à la femme et sans en déclarer la dotalité, qu'il l'ait vendu enfin, sur l'allégation d'un pouvoir fictif de le vendre que le contrat de mariage lui aurait conféré, il peut agir en nullité contre l'acquéreur. — La distinction des hypothèses diverses que je viens de rappeler en quelques mots, sans les indiquer toutes, ne présente d'intérêt qu'autant qu'il s'agit de fixer les rapports de l'acquéreur et de la femme, d'une part, — la quotité des dommages-intérêts dus à l'acquéreur par le mari, d'autre part. Je m'expliquerai ailleurs sur ces deux points ; je dois me borner ici à noter la parfaite similitude que ces hypothèses présentent, quant au droit du mari d'agir en nullité.

La jurisprudence n'a eu à se prononcer que sur la dernière, où je suppose que le mari allègue un pouvoir fictif de vendre, que le contrat de mariage ne lui donne pas : la Cour

(1) Dans l'hypothèse du 8 février 1869, le mari avait bien reçu du contrat de mariage le pouvoir de vendre, mais avec le concours et l'assistance de sa femme. Elle restait maîtresse de la vente, et il ne pouvait y intervenir, malgré les termes ambigus de l'acte, que pour l'autoriser à vendre.

de Grenoble (1), n'a pas hésité à lui ouvrir l'action en nullité. Cette solution me paraît particulièrement digne d'être notée, parce que la dotalité proprement dite n'y joue aucun rôle. Dans son contrat de mariage, la femme s'était personnellement réservé le droit d'aliéner, sans condition de remploi, les biens qu'elle se constituait en dot. Ils étaient pleinement aliénables par elle, et je puis dire, pour employer une terminologie dont toutes ces études justifieront l'exactitude, que c'était un simple *apport* qu'elle avait fait à son mari. Par suite, en appliquant à la vente que celui-ci avait indûment faite, l'art. 1560, dont la place dans le Code paraît supposer l'inaliénabilité des biens dont le mari critique l'aliénation, la jurisprudence donne un caractère plus large et plus élevé à l'action que ce texte lui confère. C'est bien moins comme protecteur et gardien de l'inaliénabilité, que comme administrateur général des biens apportés par la femme, comme chef du ménage, en un mot, qu'il peut agir et qu'il agit. Son droit à poursuivre la nullité de l'aliénation de l'immeuble de sa femme présenterait un intérêt bien faible et ferait plus de bruit qu'il n'aurait d'effet, s'il était limité à la seule hypothèse où l'inaliénabilité dotale frappe cet immeuble. On sait en effet qu'en pareil cas, l'imprescriptibilité de l'immeuble protège déjà la femme contre l'éventuelle inaction du mari. Sans doute, la suspension de prescription de l'art. 2256-2° la protège encore le plus souvent contre la même inaction, dans le cas où elle a stipulé que ses immeubles dotaux seraient aliénables. Mais le bénéfice de cette suspension de prescription est subordonné à la possibilité d'un recours de l'acquéreur contre le mari, consécutif à la poursuite de cet acquéreur par la femme à qui la sépation de biens a rendu l'exercice de ses actions, — et ce recours n'existe pas toujours : on peut supposer en effet qu'au lieu de vendre l'immeuble de sa femme, le mari en a fait dona-

(1) 13 février 1824 (Sirey, 1822-1824, II. 320)

tion. La doctrine de la Cour de Grenoble aboutit à lui reconnaître, même dans ce cas, le droit de poursuivre le tiers détenteur ; sa poursuite prend alors le caractère indéniable d'une action qui lui appartient comme chef du ménage et comme préposé à la conservation des biens de sa femme, celle-ci n'étant désormais défendue ni par l'imprescriptibilité dotale, ni par la suspension de prescription dont j'ai parlé.

Ce caractère que j'assigne à l'action en nullité du mari me conduit maintenant à noter une solution qu'il peut seul expliquer, et qui présente un intérêt capital en doctrine. C'est un adage bien connu, qu'on ne peut évincer qu'autant qu'on n'est pas garant de l'éviction. L'obligation de garantie s'oppose en principe au succès de toute action qui tend à l'éviction, si elle incombe à la même personne à qui cette action est conférée. Cette vérité de sens commun n'est pas faite pour le mari. Alors même qu'il devrait à l'acquéreur évincé une prestation quelconque dont l'éviction serait la source, il peut l'évincer, sauf à lui payer ultérieurement la valeur de cette prestation : je relève en ce sens l'arrêt précité de la Cour de Grenoble (1), et, à de longues années d'intervalle, un arrêt fortement motivé de la Cour de Pau (2), où je trouve l'expression très claire du rapport que je viens d'établir entre ce droit exorbitant du mari et le caractère général de l'action en nullité qui lui appartient (3).

Ce n'est pas tout, et je puis supposer quelque chose de plus. Le mari a peut-être employé les deniers que l'acquéreur de l'immeuble de la femme lui a comptés, à faire une acquisition d'immeubles pour elle ou pour lui. Voilà des biens qui

(1) 13 février 1824, Sirey, 1822-1824, II, 320.

(2) Pau, 5 mars 1859, Sirey, 1859, II, 404.

(3) « Quand le mari se pourvoit en justice pour revendiquer l'immeuble dotal, il n'agit pas dans son intérêt propre et exclusif, mais bien dans l'intérêt collectif de la famille dont il est le chef, en faveur de laquelle ce pouvoir lui a été conféré. »

remplacent dans ses mains, pendant la durée du mariage, l'immeuble aliéné : des biens qui peuvent servir aux mêmes fins auxquelles cet immeuble devait servir lui-même. L'exercice de l'action en nullité de l'aliénation de cet immeuble, si la jurisprudence l'autorise, va laisser provisoirement dans le patrimoine du mari ou de la femme une valeur que les deniers de l'acquéreur leur ont procurée. Malgré ce double caractère de l'opération consécutive à l'aliénation de l'immeuble de la femme, le mari n'en aura pas moins le pouvoir d'agir et d'anticiper sur l'exercice du droit incontestable qu'aurait ultérieurement la femme de critiquer l'aliénation de son immeuble. Sans doute, il en serait autrement, si l'acquisition que les deniers du tiers détenteur ont permis de réaliser, pouvait passer et valoir pour une acquisition d'immeubles en contr'échange de l'immeuble dotal, aux termes de l'art. 1559 ; dans ce cas, l'action du mari disparaîtrait, parce que celle de la femme disparaîtrait également pour l'avenir. L'immeuble dotal ayant été valablement aliéné, ce n'est pas l'exercice de l'action en nullité qui serait perdu par le mari, c'est l'action en nullité elle-même qui serait perdue par la femme. A peine est-il besoin d'ajouter que l'acquéreur de l'immeuble dotal ayant fourni aux époux, non pas de nouveaux immeubles, mais seulement les deniers suffisants pour en payer le prix, les formalités protectrices de l'art. 1559 n'ayant d'ailleurs pas été observées, toute fiction d'échange est aussi peu conforme au droit qu'aux faits. L'action en nullité persiste, l'exercice de cette action par le mari persiste également, quelque soit le profit subséquent et provisoire que sa femme et lui ont retiré de l'opération. Tout cela nous est indiqué par un arrêt de la Cour d'Agen, du 10 juillet 1833 (1), dont les motifs caractérisent le rôle du

(1) Sirey, 1834, II. 535. « La demande formée par le mari est moins une action personnelle de son chef, qu'une demande qui intéresse toute la famille : c'est une action mise sous la sauvegarde spéciale de la loi ; s'il en était autrement, le mari, garant de la vente, le serait, en même temps, de l'action. »

mari aussi nettement que la Cour de Pau devait le faire plus tard, dans l'arrêt que j'ai cité plus haut.

En résumé, quelque soit la condition personnelle du mari, en droit ou en fait : qu'il soit tenu à garantie, ou qu'il ait retiré un profit et fait un réel emploi des deniers que l'acquéreur lui a versés, son pouvoir d'agir ne disparaît pas. On peut aller jusqu'à dire que la personnalité du mari se dédouble en face de l'acquéreur. Le vendeur est obligé envers l'acquéreur, soit : le chef du ménage ne l'est pas, et c'est lui qui agit. Privilège exorbitant et d'ailleurs limité dans sa durée : vendeur, le mari l'est à perpétuité, dans sa personne et dans celle de ses hoirs ; chef du ménage, il ne l'est naturellement qu'autant que dure le ménage. On en conclura qu'ayant perdu, quand la vie commune prend fin, le droit d'agir en nullité contre l'acquéreur qui tient de lui l'immeuble, s'il retrouve ce même droit à un autre titre, ce titre nouveau est paralysé désormais par l'effet de l'obligation de garantie : sa condition personnelle protège l'acquéreur contre lui. J'indiquerai, à titre d'exemple, l'hypothèse où il devient l'héritier de sa femme. La mort de sa femme, opérant dissolution du mariage, éteint sa qualité de chef du ménage, et lui ôte l'action en nullité que cette qualité lui conférait. Il retrouve aussitôt dans l'hérédité de sa femme une autre action en nullité, celle qui appartenait à la défunte, et qu'elle eût exercée, si elle eût survécu à la dissolution du mariage. Mais cette action en nullité n'aura pas l'énergie de celle qu'il a perdue. L'obligation de garantie en paralysera dans ses mains l'exercice : l'acquéreur n'a plus devant lui qu'un vendeur ordinaire, auquel il peut reprocher sa condition personnelle et opposer l'obligation de garantie. Même doctrine et même solution dans l'hypothèse plus complexe où l'acquéreur est poursuivi par l'héritier commun de la femme et du mari : cette hypothèse a été résolue dans le sens que j'indique par trois

arrêts successifs de la Cour de Grenoble et de la Cour de Cassation (1).

J'ai ainsi caractérisé l'action du mari contre l'acquéreur de l'immeuble dotal dans tous les cas où l'immeuble est aliéné par les époux, et je conclurai d'un mot comme j'ai conclu antérieurement, dans deux ordres d'idées différents : c'est en sa qualité d'administrateur de la dot que le mari poursuit le tiers détenteur. Ce titre lui est à la fois nécessaire et suffisant pour agir.

(1) Grenoble, 28 avril 1818, Sirey, 1815-1818, II, 378. — Cass. 27 juillet 1829, Sirey, 1828-1830, I. 337, et 2 janvier 1838, Sirey, 1838, I. 568.

CHAPITRE IV.

Caractères communs à toutes les actions du mari.

C'est dans cette idée dont je viens de reproduire la formule, que toutes mes explications se résument jusqu'à présent. Quelque soit l'action que le mari dirige contre les tiers, qu'il réclame au constituant la somme promise, qu'il poursuive les débiteurs des créances dotales, qu'il revendique enfin les immeubles dotaux dans les mains de leurs détenteurs, munis ou non d'un titre que les époux leur ont conféré, son droit et sa qualité sont identiques. Les pages suivantes vont en fournir une preuve nouvelle, en même temps qu'elles serviront à fixer plus nettement le rôle du mari par des observations qu'il eût été peu logique de présenter, avant que les développements qui précèdent leur eussent donné un solide fondement.

J'indique tout de suite les trois points sur lesquels ces observations vont porter :

1° — La chose jugée entre le mari et les tiers l'est-elle aussi entre les tiers et la femme ?

2° — Dans l'exercice des actions diverses qui lui appartiennent, le mari peut-il se substituer la femme, principale intéressée à leur succès ?

3° — Le caractère de son droit à poursuivre les tiers transparait-il enfin dans la forme des actes de procédure auxquels ces actions donnent lieu, et dans l'attribution passive des dépens qu'ils occasionnent ?

I.

Le mari a sûrement un droit personnel à exercer les actions dotales, puisqu'il est usufruitier des immeubles dotaux, ou quasi-usufruitier des sommes dues à la femme et de la constitution de dot. Si l'on s'arrêtait à ce point de vue, la chose jugée entre lui et le tiers détenteur de l'immeuble dotal, — je limite provisoirement à ce cas particulier ma discussion, — ne le serait pas entre ce détenteur et la femme. L'action qu'il aurait dirigée contre lui, improprement qualifiée par les auteurs du nom d'action en revendication, ne serait autre chose qu'une action confessoire de son droit d'usufruit, et la question de propriété resterait entière dans les rapports du tiers détenteur et de la femme.

Il est à peine besoin de relever l'incorrection juridique et les inconvénients pratiques d'un pareil système. Il aurait pour conséquence immédiate la disparition temporaire de l'action en revendication, la femme ne pouvant exercer aucune action dotale, aux termes de l'art. 1549, et le mari ne pouvant agir que pour obtenir la reconnaissance et l'émolument de son droit d'usufruit.

La gêne serait déjà grande, si l'on suppose que la dotalité frappe l'immeuble. Sans doute, à moins que la possession du tiers détenteur ne fût antérieure au mariage, la femme n'aurait pas à redouter que l'usucapion s'accomplît : elle serait protégée par l'imprescriptibilité de l'immeuble, conséquence de l'inaliénabilité qui le frappe. — Mais, ce péril écarté, ne serait-il pas étrange qu'elle fût obligée, à l'expiration des pouvoirs du mari, de reprendre et d'agiter de nouveau la même question qu'il aurait déjà fait résoudre en exerçant l'action confessoire qui lui appartenait ? La preuve du droit d'usufruit du mari suppose la preuve du droit de propriété de la femme,

qui n'a pu détacher de l'immeuble ce droit d'usufruit que si elle était propriétaire de l'immeuble (1). Qu'importe, en fait, que ce soit le mari, et non pas elle, qui ait administré la preuve de son droit de propriété ?

Je viens de supposer implicitement qu'il a triomphé du tiers détenteur ; dans le cas contraire, je puis reproduire, au profit et dans l'intérêt de ce dernier, le raisonnement que je viens d'appliquer à la femme. Pourquoi le contraindre à subir d'elle une poursuite nouvelle, quand il est plus que probable en fait qu'il n'a triomphé que par l'impuissance du mari à prouver le droit de propriété de la femme ? Il est peu vraisemblable qu'elle soit plus heureuse et qu'elle réussisse où il a échoué. Je conclus rapidement que l'utilité pratique n'est satisfaite que si la question est considérée comme entièrement résolue entre le mari, la femme, et le tiers détenteur, sur le seul exercice de l'action réelle par le mari.

Deux mots suffiront à renforcer mon argumentation pour l'hypothèse où l'immeuble dotal n'est pas inaliénable. Si la chose jugée entre le tiers détenteur et le mari ne l'est pas entre ce tiers détenteur et la femme, c'est que l'action du mari est une pure action confessoire de son droit d'usufruit. Il a donc possédé depuis pour le compte du tiers détenteur, et, comme l'imprescriptibilité de l'immeuble n'existe plus, la prescription acquisitive a pu s'accomplir au profit de ce dernier, s'il n'a pas été fait par le mari d'acte interruptif de prescription : résultat qui est évidemment absurde.

Ce n'est donc pas une action confessoire de son droit d'usufruit qu'exercera le mari ; c'est bien vraiment la revendication elle-même qu'il intente, à son profit pour l'usufruit, au profit de la femme pour la nue-propriété. La chose jugée entre le tiers détenteur et lui l'est aussi entre le tiers détenteur

(1) C'est au moins le cas ordinaire : je laisse de côté l'hypothèse de l'usucapion de l'usufruit par le mari au titre *pro dote*.

et la femme. Et le caractère que mes développements antérieurs ont assigné au mari trouve ici une confirmation nouvelle autant que positive : il administre la dot et représente la femme à raison du mandat conventionnel dont le contrat de mariage l'a irrévocablement investi. Ce serait une grave incorrection juridique de lui reconnaître cette qualité, et de ne point étendre aux rapports du tiers détenteur et de la femme l'autorité de la chose jugée entre ce tiers détenteur et lui.

J'ai raisonné jusqu'à présent dans l'hypothèse d'une action réelle, mais la doctrine que l'utilité pratique et les principes commandent simultanément d'y appliquer vaut également pour celle où le mari poursuit les différents obligés personnels de la femme.

Au point de vue juridique, l'incorrection du système contraire serait aussi forte que dans le cas dont je viens de m'occuper. Au point de vue pratique, les résultats seraient plus singuliers encore. Le mari n'ayant triomphé du débiteur dotal et du constituant qu'à titre de quasi-usufruitier de la somme due, ce débiteur et ce constituant deviendraient, à l'époque de la restitution de la dot, ses créanciers pour pareille somme, sauf à la femme à les poursuivre ultérieurement pour exiger d'eux un paiement nouveau : moyen commode pour elle d'éviter l'insolvabilité de son mari et de leur en faire subir les conséquences (1).

Quelqu'étrange que soit le système hypothétique dont je viens d'indiquer les termes, il a été produit en pratique avec une légère variante, et repoussé, bien entendu, par la Cour de Cassation (2).

(1) On se demande d'ailleurs ce que deviendrait, et à quoi servirait, dans cette conception, l'hypothèque légale ; les débiteurs dotaux, devenus créanciers du mari, ne pouvant évidemment l'invoquer aux lieu et place de la femme.

(2) 14 août 1865, Sirey, 1865, I. 440.

La Cour de Bordeaux, le 13 décembre 1860 (1), avait jugé, sur la poursuite du mari, que la femme renonçante pouvait cumuler sa part de réserve et le disponible dans la succession du constituant : la jurisprudence admettait alors la possibilité du cumul. Trois ans plus tard, le système du cumul est définitivement abandonné (2). Les héritiers du constituant, n'ayant plus devant eux le mari, décédé dans l'intervalle, se retournèrent contre la femme, espérant lui faire goûter les prémices de la nouvelle jurisprudence, et la poursuivirent en restitution. Elle leur opposa purement et simplement l'autorité de la chose jugée, soutenant que l'arrêt de la Cour de Bordeaux avait tranché la question, non seulement dans leurs rapports avec le mari, mais aussi dans leurs rapports avec elle, à raison du titre du mari, leur adversaire, dans l'instance de 1860 (3).

C'est donc bien l'action personnelle de la femme qu'exerce le mari, absolument comme il exerçait tout à l'heure la revendication elle-même, et non pas seulement l'action confessoire de l'usufruit qui lui appartient. La conséquence nécessaire de cette doctrine est l'extension générale de l'autorité de la chose jugée entre les tiers et lui aux rapports des tiers et de la femme.

C'est une solution que réclame l'utilité pratique, et j'ai dit que les principes du droit la recommandaient également. — C'est vrai, mais sous le bénéfice d'une observation qui ne manque pas d'intérêt. Dans les poursuites personnelles, comme dans la revendication, le droit du mari est mêlé à celui de la femme. Il est usufruitier de l'immeuble dotal, et quasi-usufruitier des sommes à percevoir : elle est propriétaire de cet

(1) Sirey, 1861, II. 625.

(2) Cass. 27 Décembre 1863. Sirey, 1863, I. 513.

(3) J'observe en terminant que, dans la doctrine imaginaire que j'ai développée au texte, c'est la succession du mari et non pas la femme qu'on aurait compris qu'ils poursuivissent. Cette substitution de personnes constitue précisément la « variante », à laquelle j'ai fait allusion au texte.

immeuble et créancière de cet argent. C'est par suite au nom de la femme aussi bien qu'en son nom qu'il agit. Mais, comme il figure seul dans les actes de procédure que le litige occasionne, on peut dire que la femme, en ce qui la concerne, et quant à l'intérêt qu'elle a dans le litige, plaide par procureur, en dépit de l'adage bien connu qui le défend (1). C'est une observation dont la suite de mes développements prouvera la justesse, et qu'il était bon de faire pour assurer le succès de la doctrine que je vais défendre sur la seconde question dont j'ai annoncé l'examen.

II.

Je rappelle qu'il s'agit de savoir si la femme peut exercer les actions du mari à sa place, avec son assentiment. On conçoit deux procédés par lesquels cette substitution de personnes pourrait s'opérer. — Ou bien le mari *autoriserait* la femme à poursuivre les tiers, ou bien il lui conférerait un *mandat* positif à cet effet. La jurisprudence est incontestablement fixée en ce sens, que, dans le premier cas, la substitution dont je parle est impossible : un arrêt déjà ancien de la Cour de Limoges (2), un arrêt plus récent de la Cour de Bordeaux (3), ont refusé, dans ces conditions, de sanctionner la prétention de la femme. Lors au contraire qu'elle a reçu mandat de son mari, la même jurisprudence incline à lui permettre d'agir : je citerai un arrêt intermédiaire de la Cour de Lyon, du 16 Janvier 1834, dont la solution paraît seulement un peu hardie, vu les faits (4), — et les motifs de l'arrêt précité de la Cour de Bordeaux, du 29 Juillet 1857 (5).

(1) En ce sens, Garsonnet, *Cours de Procédure*, 1882, I. 487 (§ 119 ter, note 7.)
(2) 4 février 1822. Sirey, 1822-1824, II. 20.
(3) 29 Juillet 1857. Sirey. 1858, II. 67.
(4) Il ne résultait pas clairement des faits que le mari eût donné mandat à sa femme.
(5) Voy. Sirey, II. 71 (1re colonne).

Acceptant provisoirement la distinction qui semble résulter de ces documents, je vais rechercher si elle est vraiment conforme aux principes. Je crois qu'il en est ainsi, et qu'à ce titre elle mérite créance et adhésion.

Je comprends très bien qu'on refuse d'écouter la femme quand elle se borne à produire l'autorisation de son mari. — Sans doute, à supposer que sa poursuite pût juridiquement se continuer, les tiers en auraient fini avec elle, et l'autorité de la chose jugée les garantirait contr'elle, en même temps qu'elle la garantirait contr'eux. Mais il est bien impossible d'étendre cette solution et d'appliquer cette idée aux rapports des tiers et du mari. L'autorisation qu'il a donnée ne l'a pas rendu partie à l'instance, et la femme ne l'y a pas représenté, puisque c'est d'une simple autorisation de lui qu'elle s'est prévalue. Reproche inévitable, et qui suffirait, je pense, à imposer le rejet du système. Je n'aurai pas de peine à en formuler un second, si je m'attache plus étroitement au caractère de l'autorisation maritale. C'est au mari seul que la loi donne le pouvoir d'agir : c'est donc, à tout le moins, un transfert de pouvoirs qui devrait avoir lieu du mari à la femme, pour que celle-ci pût y trouver ce que sa condition personnelle ne lui donne pas. Mais l'autorisation ne l'habilite justement que lorsqu'elle est déjà nantie d'un titre pour agir : elle fortifie ce titre, qui, sans elle, serait insuffisant. Elle suppose en un mot, chez la femme, un titre préexistant, et ce titre lui est précisément refusé par l'art. 1549.

Par suite, au double point de vue du caractère de l'autorisation maritale, et de l'autorité de la chose jugée, cette autorisation ne saurait permettre à la femme d'intenter elle-même les poursuites. Si l'on suppose qu'en fait, elle les a intentées, le jugement ou l'arrêt qui les a terminées, reste sans valeur à son égard comme à l'égard du mari ; l'autorité de la chose

jugée n'en résulte point à son profit ou contr'elle (1). Sans doute, j'ai dit plus haut qu'on pourrait concevoir qu'il en fût autrement : mais il ne s'ensuit pas que cette conception soit conforme à la réalité. L'autorité de la chose jugée entre les tiers et la femme est liée à l'autorité de la chose jugée entre les tiers et le mari. Où celle-ci fait défaut, — et j'ai prouvé qu'il en est ainsi dans la difficulté que j'examine, — celle-là ne saurait exister non plus.

Mais tout va changer, si je remplace l'autorisation par un mandat. La femme n'a pas de pouvoirs qui lui soient propres : elle les reçoit du mandat que son mari lui donne. Du même coup, le mari est représenté à l'instance, et rien n'empêche qu'il y ait chose jugée sur l'action de la femme entre les tiers et lui.

Je sais bien qu'on a dit récemment (2) qu'un mandat du mari à la femme est nécessairement nul, parce que c'est en réalité le mari qui plaide, et qu'on ne plaide pas par procureur. — J'avoue que je ne saisis pas l'objection. La femme est un mandataire ordinaire, et il n'est pas douteux qu'on puisse plaider par mandataire. La seule conséquence de cette distinction du mandataire et du procureur est que toute signification des actes de procédure doit être faite au mandant. Cette obligation n'existerait pas, si le mandataire était un procureur : elle n'existe pas dans les cas exceptionnels où il est permis de plaider par procureur; il suffirait, et il suffit en effet, dans ces cas exceptionnels, que la signification soit faite au procureur. Je me bornerai par conséquent à exiger que toute signification soit faite au mari, quand la femme plaide en son nom (3).

(1) Bordeaux, précité, 29 Juillet 1857. Sirey, 1858, II. 67.
(2) Guillouard, *Traité du Contrat de mariage*, 1888, IV, 108, n° 1785.
(3) Sur tous ces points, Garsonnet, *Traité de Procédure*, 1885, II. 148 et suiv. § 126.

Sans doute on me demandera quelle utilité pratique présente l'emploi du procédé dont je viens de défendre, avec la jurisprudence, la validité. Je puis supposer qu'un tiers détient une valeur en partie paraphernale, et en partie dotale; je me sers à dessein d'une formule très générale (1). Si le mari ne pouvait donner mandat à sa femme d'agir contre ce tiers, la solution du litige supposerait nécessairement deux actions, l'une du mari, et l'autre de la femme, si mieux n'aimait la femme donner mandat à son mari d'agir pour elle, ce qu'il n'est pas douteux qu'elle puisse faire, mais ce qu'elle ne se résoudra peut-être pas à faire. En permettant au mari de faire à sa femme la concession qu'elle lui refuse, une seule action suffira (2), et ce ne sont pas les époux qui s'en plaindront. Cette hypothèse est justement celle que la Cour de Lyon a résolue par l'arrêt précité du 16 janvier 1834.

En résumé, je distingue, avec la jurisprudence, l'autorisation, du mandat. Possible dans le second cas, l'action de la femme ne l'est pas dans le premier. Quant à discerner en fait si le mari a pris l'un ou l'autre parti, c'est affaire aux tribunaux, et l'examen des arrêts prouve que la tâche qui leur incombe à ce titre est beaucoup moins épineuse qu'on n'inclinerait à le croire. C'est en théorie seulement que la distinction que je propose est délicate et subtile, et je ne terminerai pas ma discussion sans rappeler, pour rassurer ma conscience, que les jurisconsultes romains connaissaient et pratiquaient, dans un ordre d'idées un peu différent, une distinction tout aussi subtile entre le *Jussum* et le mandat (3).

(1) Je renvoie particulièrement à la jurisprudence, sur l'art. 1553.

(2) Avec doubles significations, bien entendu, puisqu'il y a, en réalité, double instance.

(3) Voir Gide, *Novation*, 1879, pag. 458 et suiv.

III.

Le rôle du mari transparait enfin dans la forme des actes de procédure que l'exercice des actions dotales occasionne, et dans l'attribution passive des frais qu'elles entraînent. Mes explications seront très brèves sur ces deux points.

I. — Procureur et non pas mandataire seulement, le mari dispose de la procédure : c'est à lui qu'il faut que les actes de procédure soient signifiés. L'intérêt qu'il a au succès de l'action réelle ou personnelle absorbe l'intérêt plus fort de la femme. Je citerai un arrêt de Cassation du 19 Décembre 1855 (1), d'où il résulte qu'il suffit que le jugement ou l'arrêt soit notifié en une seule copie au mari, pour que tous ses effets soient produits.

Ce n'est pas tout, et je trouve dans un arrêt postérieur de la Cour de Grenoble, du 13 mars 1858 (2), une confirmation particulièrement remarquable de cette idée, que le mari plaide comme procureur de sa femme. Des habitants d'une commune parmi lesquels figuraient des maris pour la protection des droits immobiliers de leurs femmes dotales, plaidaient contre ceux d'une autre commune. Ils avaient signifié à ces derniers, pour éviter les frais de significations ultérieures multiples, un acte aux termes duquel ils déclaraient se contenter, pour chacun des actes de procédure à venir, d'une signification unique, faite au domicile de l'un d'eux, protestant qu'ils entendaient que toute autre signification fût considérée comme frustratoire. La Cour ayant admis la validité d'une pareille exigence pour ceux d'entr'eux qui plaidaient en leur nom (3), l'admit également pour les maris qui agissaient du chef de leurs femmes.

(1) Sirey, 1856, I. 107.
(2) Sirey, 1859, II. 257.
(3) Il y avait cependant là peut-être un échec à la règle : nul ne plaide par procureur : la question n'a été soulevée ni par la Cour, ni par les parties.

En un mot, tout ce que peut faire un particulier dans l'exercice des actions qui lui appartiennent en propre, le mari peut le faire quant il agit du chef de sa femme. Il est plus que son mandataire : il est son procureur, et plaide à ce titre pour elle et pour lui.

II. — Je me débarrasserai d'un mot de la question que soulève l'attribution passive des frais. Elle se règle absolument comme si l'instance avait été poursuivie et avait pu être poursuivie par la femme elle-même (1). Le mari plaide en son nom, mais il la représente, et cela suffit.

(1) Toulouse, 28 août 1828, Sirey, 1828-1830, II. 146.

CHAPITRE V

Exceptions aux pouvoirs du mari.

I.

Si étendus que soient les pouvoirs du mari quant à l'exercice des actions dotales, je dois signaler un cas où une jurisprudence établie ne lui permet pas d'agir. Quand la femme est appelée à partager des biens indivis, dont la part qu'elle y doit prendre est comprise dans l'apport qu'elle a fait à son mari, l'intervention de celui-ci ne suffit pas. L'action en partage de ces biens appartient à la femme, et doit être exercée par elle : son mari ne comparait que pour l'y autoriser.

I. — Je veux suivre dans les arrêts l'évolution de cette doctrine qu'il est assez difficile, à première vue, de justifier. Les auteurs se bornent à répondre que la jurisprudence a fondé la solution dont je parle, sur l'art. 818, qui ne permet au mari de procéder au partage des biens de sa femme, que s'il s'agit de biens qui doivent tomber en communauté. Raisonnement insuffisant, j'en conviens tout le premier, car, à l'époque où fut rédigé l'art. 818, les auteurs du Code ignoraient encore s'ils maintiendraient le régime dotal, et n'ont dès lors pu faire allusion dans ce texte, qu'aux biens qui ne tombent point en communauté, dans tout régime de communauté légale ou

conventionnelle, de séparation de biens, ou d'exclusion de communauté (1).

C'est dans un arrêt de la Cour d'Agen, du 24 février 1809 (2), que je trouve la première expression de la doctrine dont je veux rechercher le fondement. La Cour d'Agen rattache l'impossibilité pour le mari d'agir seul en partage, à cette idée « que la propriété de la dot ne cesse pas de résider sur la tête de la femme, » et que l'action en partage suppose chez qui l'exerce, la copropriété de la chose à partager. Elle ne manque pas d'invoquer l'art. 818 à l'appui de son raisonnement. — Faut-il s'arrêter longtemps à le critiquer? Il me suffira d'observer que la propriété de la *dos inæstimata* reposait bien à Rome sur la tête du mari et que cela n'empêchait pas le droit romain de lui refuser l'action *communi dividundo* (3); j'ajoute que l'action en revendication suppose bien, elle aussi, que la propriété de la chose revendiquée repose sur la tête du revendiquant, ce qui n'empêche pas que l'art. 1549 en confère l'exercice au mari, qui n'est cependant pas propriétaire de l'immeuble dotal.

C'est pour cela qu'un arrêt fortement motivé de la Cour d'Aix, du 9 janvier 1810 (4), revenant sur la doctrine imparfaitement établie de la Cour d'Agen, met l'action en partage sur la même ligne que les autres actions dotales, et en attribue l'exercice au mari. L'arrêt de 1809 a préparé les voies à la Cour d'Aix, par l'insuffisance même des raisons alléguées à l'appui de l'opinion qu'il a sanctionnée. — La demande en partage est une demande contre les détenteurs des biens dotaux, dit la Cour d'Aix, et l'art. 1549 donne au mari seul, pendant le mariage, le droit de poursuivre les détenteurs de

(1) Guillouard, *Traité du Contrat de mariage*, IV, 110.
(2) Sirey, 1809-1811, II, 34.
(3) Const. 12, V. 23, *de fundo dotali.*
(4) Sirey, 1809-1811, II, 181.

ces biens. — Le droit de provoquer le partage des biens de la femme est lié au droit de les revendiquer ; l'art. 818 suffit lui-même à l'établir : si le mari est impuissant à provoquer le partage des propres, c'est que la revendication de ces biens ne lui appartient pas. Comme il en est autrement pour les biens dotaux, le droit de procéder au partage de ces biens fait également partie de ses pouvoirs. — Il est inutile enfin d'alléguer le caractère du partage et l'aliénation nécessaire qu'il implique, malgré la fiction de l'art. 883. S'il est interdit au mari de partager les biens dotaux sous prétexte que tout partage équivaut à une aliénation, la même interdiction va s'appliquer à la femme, que la dotalité stipulée par elle empêche d'aliéner ces biens et par conséquent de les partager.

J'ai fidèlement reproduit et résumé les motifs de l'arrêt, et si la doctrine qu'il sanctionne est justement celle que la jurisprudence ultérieure a écartée, s'il est impossible à ce titre de faire de cet arrêt le point de départ de cette jurisprudence, il faut cependant conserver à ses auteurs le mérite d'avoir nettement posé la question. Désormais, l'objection classique et banale, aux termes de laquelle on doit refuser au mari l'action en partage parce que tout partage implique aliénation, et que toute aliénation lui est défendue, n'obtiendra plus les honneurs d'une réponse. L'argumentation vigoureuse de l'arrêt de 1810 nous en débarrasse tout à fait : c'est un déchet de l'évolution dont je fais l'histoire.

Aussi bien, c'est d'un autre côté que cette évolution se poursuivra. La Cour d'Aix admet que la demande en partage est une action dirigée contre les détenteurs des biens dotaux : c'est le point faible du système et le défaut de la cuirasse ; « l'action en partage peut être exercée sur les biens qui se trouvent aux mains du demandeur en partage », répond la Cour de Nîmes, le 12 mars 1835 (1) : par conséquent, et pour

(1) Sirey, 1835, II. 294.

cette hypothèse au moins, ce n'est pas une action dirigée contre les détenteurs des biens dotaux. Sans doute, il peut arriver qu'il en soit ainsi, mais c'est là un fait accidentel dont il ne faut pas tenir compte pour définir l'action en partage, car on ne définit une action que par l'énumération de ses caractères généraux et permanents.

L'action en partage n'est donc pas une action dirigée contre les détenteurs des biens dotaux : elle échappe à ce titre à l'art. 1549, et l'on est par suite nécessairément amené à lui appliquer l'art. 818, « à moins d'admettre qu'il n'y ait dans le Code aucune disposition sur le partage des biens dotaux. »

J'indique tout de suite que l'arrêt de la Cour de Nîmes a fait jurisprudence, et je cite en note sans plus tarder, sauf à revenir tout à l'heure sur la première, les décisions ultérieures qui ont assuré le succès de cette opinion (1).

II. — Je voudrais maintenant rechercher, plus précisément que ne me paraissent l'avoir fait les Cours d'appel et la Cour de Cassation, les raisons juridiques de cet amoindrissement des pouvoirs du mari, et fixer la couleur singulièrement originale et vive que leurs arrêts donnent à l'ensemble de la jurisprudence dotale.

Historiquement, la raison décisive qu'elles ont invoquée à cet effet est celle que la Cour de Nîmes a eu la première l'honneur de formuler. Provoquer le partage des biens dotaux, ce n'est pas agir contre les détenteurs de ces biens. Je retrouve la même doctrine dans l'arrêt de la Cour de Pau, qui l'exprime seulement d'une façon plus brève (2).

(1) Paris, 14 juillet 1845, Sirey, 1845, II, 501 et Cass. (mêmes parties) 21 janvier 1846, Sirey, 1846, I, 263. — Pau, 2 février 1861, Sirey, 1862, II. 241. — Bordeaux, 30 mai 1871, Sirey, 1871, II. 147.

(2) « L'action en partage n'est pas une action contre les détenteurs des biens dotaux..... Il n'y a pas à distinguer en effet entre le cas où le mari est demandeur en partage et celui où il y serait appelé par les cohéritiers de la femme : le texte de l'art. 818 repousse une pareille distinction. »

Je ne méconnais pas la force de cette argumentation. J'hésiterais cependant à lui promettre un long avenir et des succès ultérieurs tout à fait assurés, s'il était impossible de la fortifier par d'autres considérations que les arrêts ne contiennent pas, mais qui, j'imagine, ont tacitement inspiré leurs auteurs.

Sans doute, l'action en partage est un « *Judicium duplex* », pour employer l'expression romaine, que je ne suis pas le premier à lui appliquer (1). A ce titre, il est difficile de la considérer comme une action contre les détenteurs des biens dotaux. Il n'en résulte pas nécessairement qu'il n'appartienne pas au mari de l'exercer. Car, — une fois admis qu'il ne faut pas s'arrêter à l'aliénation forcée qu'elle implique réellement, sans quoi la femme, aussi bien que le mari, serait impuissante à l'exercer elle-même, — on pourrait soutenir que le mari, s'il n'en dispose point au titre où il exerce les actions dotales dirigées contre les détenteurs des biens dotaux, en est investi à tout le moins en sa qualité d'administrateur. Je m'explique. La condition du mari quant aux biens dotaux, renferme trois prérogatives différentes : il jouit des biens dotaux, il les administre, il en poursuit les débiteurs et les détenteurs. Le partage est la condition de sa jouissance future et définitive de la portion dotale des biens indivis. Sans doute, le partage provisionnel de ces biens, qu'il peut provoquer seul, suffit à lui permettre de jouir de cette part; mais ce partage ne lui donnerait, comme en témoigne le qualificatif qui s'y joint, qu'une jouissance précaire et provisoire, dont les cohéritiers de la femme pourraient modifier ultérieurement l'objet. Le partage définitif peut seul asseoir sur un fondement incommutable son droit de jouissance : en deux mots, le mari ne jouira qu'à condition de partager. Dès lors, la question est de savoir si l'action en partage, qui diffère du tout au tout, j'en conviens, des autres actions dotales, et dont il est par suite impos-

(1) Aubry et Rau, § 621 bis, note 1, (VI, 511).

sible d'investir le mari à ce titre, ne lui appartient pas à un autre. L'administration générale des biens dotaux lui est conférée pour la garantie de sa jouissance des mêmes biens; le partage étant la condition, et, du même coup, la garantie de cette jouissance, n'est-il pas compris dans les *actes d'administration* que le mari peut faire seul ? La Cour de Pau a bien vu l'objection, mais il faut avouer qu'elle s'en est débarrassée d'une façon un peu sommaire : « L'action en partage, dit-elle, ne peut être considérée comme un acte d'administration. »

J'ai par conséquent l'obligation de rechercher en dehors des arrêts, si le partage ne présente pas des caractères spéciaux qui ne permettent pas qu'on l'assimile aux actes généraux d'administration que peut seul faire le mari. — Je lis dans une note, qui accompagne l'arrêt de la Cour de Pau, dans le recueil de Sirey, que l'action en partage des biens dotaux se distingue par ce trait, qu'elle n'engagerait jamais la responsabilité du mari, s'il était libre de l'intenter. « Le partage, quelque désavantageux qu'il puisse être pour la femme, ne saurait donner lieu à aucune garantie du mari envers elle, en sorte que, s'il était permis au mari d'exercer seul cette action, il pourrait impunément compromettre, dans son intérêt personnel, les intérêts de sa femme et de la famille, en se faisant attribuer, par exemple, à la place d'immeubles qu'il ne pourrait aliéner, des valeurs mobilières dont il aurait la libre disposition. A ce point de vue, poursuit l'arrêtiste, le partage peut constituer une véritable aliénation de la dot, et c'est là un motif suffisant pour que le mari ne puisse y procéder seul (1). »

La fin de l'argumentation suffirait à me garder de la faire mienne. L'arrêtiste en revient en effet, — la faiblesse de ses raisonnements antérieurs l'y oblige, — à cette objection classique et banale que les arrêts m'ont servi à réfuter. Si l'on

(1) Sirey, 1862, II. 242. 2e colonne. La note est signée G. Dutruc.

s'arrête à l'aliénation nécessaire que tout partage implique, ce n'est pas seulement le mari qui est impuissant à le provoquer : la femme est dans le même cas. Je l'ai dit, je le rappelle, et je passe. Je ne m'attarderai pas davantage à critiquer l'argumentation qui précède l'objection finale. Sans doute, le mari pourrait, dans un partage amiable, composer à son gré le lot de sa femme avec le concours de ses cohéritiers. Cette observation prouve simplement qu'il aurait l'obligation, pour procéder utilement au partage définitif des biens, de requérir la nomination d'un expert, auquel un texte bien connu du Code Civil tracerait ses devoirs (1) ; les intérêts de la femme seraient pleinement assurés contre le danger que l'arrêtiste signale. Ce danger, par conséquent, s'il suffit à limiter le droit hypothétique du mari à partager, est trop faible pour le supprimer absolument. La protection qu'on ménagerait ainsi à la femme le dépasse de tous points : il n'y a pas de proportion raisonnable du but au moyen.

La difficulté consiste donc à trouver une raison qui vaille pour tous les partages possibles, dans quelques termes que le mari ait la prétention de les faire. — Le raisonnement de l'arrêtiste n'est pas meilleur à ce titre que celui qu'on fait quelquefois, et qu'il faut bien que je reproduise pour être complet. La portion qui doit revenir à la femme, dans la masse indivise, peut comprendre des paraphernaux en même temps que des biens dotaux : permettre au mari d'agir seul, ce serait lui conférer, sur une partie des paraphernaux, des pouvoirs qui ne peuvent lui appartenir à tout le moins qu'à l'occasion des biens dotaux. — Réponse : quand il y aura constitution universelle de tous les biens présents et à venir, l'extension des pouvoirs du mari sur une partie des paraphernaux ne sera plus à redouter, puisqu'il n'y aura pas de paraphernaux, et l'action en partage sera dévolue, sans aucun doute, au mari.

(1) Art. 826. Cod. Civ., — art. 978. Cod. de Proc. civ.

La jurisprudence n'a jamais fait, à ma connaissance, une distinction si radicale entre la constitution universelle et la constitution limitée. Dans l'une et l'autre hypothèse, elle écarte la prétention du mari : c'est apparemment pour une raison qui n'est pas celle que je viens d'indiquer.

Je ferai connaître maintenant celle que je crois vraie.

Je pense tout simplement que la responsabilité du mari serait trop étendue et trop lourde, s'il disposait de l'action en partage comme des autres actions dotales. Qu'il l'exerce ou non, les conséquences de sa poursuite ou de son inaction pourraient devenir trop graves pour sa femme et pour lui. Mieux vaut dès lors supprimer la source éventuelle de cette responsabilité.

Il est inutile que je développe longuement l'indication générale qui précède : je m'arrêterai, dans la double hypothèse que je signale, à deux exemples, qui vaudront pour ceux que j'omets.

Première hypothèse : le mari provoque judiciairement le partage. La femme subit une lésion supérieure au quart de sa portion due, et le mari laisse passer dix années sans agir en rescision (1). Si la femme parvient à établir qu'elle subit en effet cette lésion, la responsabilité du mari sera engagée. Responsabilité bien lourde pour lui, s'il est solvable à cette époque ; protection nulle pour la femme s'il ne l'est pas (2).

Les époux seront-ils plus heureux si le mari préfère aux dangers éventuels du partage une abstention prudente et le maintien de l'indivision ? — Je veux bien admettre que les cohéritiers

(1) Je suppose, bien entendu, 1° que le délai de dix années court contre la femme du jour du partage provoqué par le mari seul. 2° que l'action en rescision appartient au mari. Ces deux solutions me paraissent résulter nécessairement de la doctrine qui lui permet d'agir seul en partage, et l'art. 2256. 2° n'est d'ailleurs pas contraire à la première.

(2) J'ai à peine besoin de rappeler que le droit de provoquer la rescision appartient à tout copartageant, quels que soient le caractère et les formes du partage intervenu.

de la femme y souscriront. — Un péril nouveau surgit. Sans doute, il n'y a pas à craindre que la prescription acquisitive de la part de la femme s'opère au profit de ses cohéritiers : leur possession des biens indivis restera précaire, — et l'imprescriptibilité de la dot, — à moins que la femme ne l'ait écartée en stipulant que sa dot serait aliénable, — viendra se joindre à l'insuffisance de la possession pour empêcher l'usucapion. — Mais on peut imaginer autre chose : mauvaise administration des biens indivis, incurie du cohéritier qui s'en est chargé, etc. De nouveau la responsabilité du mari se trouve engagée, — lourde pour lui s'il est solvable, dérisoire pour la femme s'il ne l'est pas.

Voilà les faits. Je n'ignore pas qu'il y a une réponse toute prête. Ce sont là, dira-t-on, les conséquences normales de l'adoption du régime dotal par les époux. Pourquoi le mari se plaindrait-il des effets réels de la responsabilité qui le charge? Pourquoi la femme protesterait-elle contre l'inefficacité ultérieure de cette responsabilité? La condition des époux n'est-elle pas la même pour tous les droits dont le régime dotal confère incontestablement la poursuite au mari? Recouvrement des différentes créances dotales, revendication des immeubles dotaux, tout cela peut engager la responsabilité du mari, et cette responsabilité peut être illusoire pour la femme.

Sans doute, mais on oublie qu'en fait, une différence profonde sépare les droits que je viens de rappeler, et la responsabilité dont ils chargent éventuellement le mari, de l'action en partage et de la responsabilité qu'elle entraînerait pour lui. Voici comment : cette responsabilité ne présente jamais des caractères trop menaçants pour le mari dans le premier cas. S'agit-il de la poursuite des valeurs présentes que la femme lui apporte en se mariant? Il en connaît le chiffre et la qualité : il sait ce qu'il fait en s'engageant à les recouvrer. S'agit-il de la poursuite des biens à venir, sa condition n'est

guère moins favorable. Quand il doit revendiquer un immeuble échu à sa femme pendant le mariage, réclamer le paiement d'une créance dotale dont elle est investie à la même époque, la question n'est pas tellement complexe, qu'il ne puisse mesurer la responsabilité qu'il encourra en n'agissant pas. En outre, il n'a pas à redouter que l'obscurité d'une situation louche permette à sa femme de lui imputer ultérieurement devant le juge une faute qu'il n'a pas commise, car sa ligne de conduite est nette, et les faits sont trop simples pour qu'il ait de la peine à se disculper d'une faute imaginaire. — Aucune de ces observations ne peut s'appliquer au partage. Le mari courrait des risques trop grands s'il avait le droit et l'obligation de le provoquer. Puisqu'à chacun de ses pouvoirs correspond nécessairement une responsabilité spéciale, c'est déjà un grave préjugé contre la concession du pouvoir dont je parle que l'exagération de la responsabilité qu'il entraînerait. On serait trop aisément conduit, pour garantir la femme contre les effets d'un pouvoir absolu et sans limites, à rendre le contrôle plus énergique, en écoutant complaisamment les griefs que cette femme serait amenée à formuler. — En deux mots, et je demande grâce pour la vulgarité de l'image, les juges deviendraient les artisans du filet qui permettrait à la femme de pêcher en eau trouble.

J'ajoute enfin qu'on peut trouver dans la loi elle-même, à l'appui des observations qu'on vient de lire, et que provoquent les réalités de la vie, une analogie qui ne manque pas d'intérêt. — La responsabilité du mari est plus ou moins lourde, suivant la qualité des droits dont l'investit le régime dotal. S'agit-il d'une créance dotale dont il connaît ou doit connaître tous les éléments, — je veux parler de celle qui naît de la constitution de dot, — sa responsabilité se ramifie très loin, et sa faute est présumée. S'agit-il des autres créances dotales, dont il connaît imparfaitement la valeur, la présomption de faute

s'évanouit, et sa responsabilité se limite au recouvrement. N'est-il pas conforme à l'esprit de la double solution que je rappelle, que la responsabilité du mari disparaisse tout à fait dans l'ordre d'idées où je suis, par l'excès même de la rigueur qu'elle aurait ? La disparition de cette responsabilité supposant la disparition du droit dont l'exercice la ferait éventuellement naître, il en résulte que l'application de l'art. 818 au régime dotal trouve un dernier fondement dans les art. 1567 et 1569.

Je n'ai encore envisagé la difficulté que du côté du mari. La même conclusion m'est dictée par l'intérêt de la femme. J'ai dit que l'obscurité des faits où la concession de l'action en partage au mari l'obligerait à s'engager, permettrait souvent à la femme d'imputer au mari une faute imaginaire. Cette éventualité aurait, je crois, pour fidèle compagne, l'éventualité contraire. Il y aurait chance que la même situation complexe empêchât parfois la femme de prouver la faute réelle du mari. Qui protège trop, protège souvent trop peu. L'excès de rigueur d'une Cour pour le mari, aurait pour correctif l'excès d'indulgence d'une autre. Les juges sont des hommes, et, tout émus qu'ils seraient par une solution récente du premier type, ils la compenseraient par une autre du second. Fluctuations de jurisprudence dues à l'importance nécessairement prépondérante de la question de fait, et soustraites par la même à toute critique de la Cour de Cassation ou des grandes autorités de la doctrine ; en fin de compte, irrésolution de la pratique et abandon du régime, telles seraient les conséquences de l'opinion dont j'ai maintenant justifié le rejet.

Voilà, je crois, les véritables raisons de l'extension de l'article 818 au régime dotal. Je n'ai pas à dissimuler qu'on n'en rencontre pas l'expression dans les arrêts : ce sont les réalités de la vie qui les indiquent. Si je me suis permis de les encadrer dans le système des arrêts, ce n'est pas que je veuille prêter à la jurisprudence d'autres idées que celles qui ont historiquement déterminé son évo-

lution : le caractère de ce travail me l'interdit. Mais les nuances de cette évolution sont tellement fines, que ces idées paraîtront peut-être moins étrangères au milieu que j'étudie, et moins personnelles à leur défenseur, si j'en montre le parfait accord avec deux solutions des arrêts, l'une certaine, et la seconde probable seulement.

III. Cela me conduit à fixer l'application pratique de la doctrine qui attribue à la femme l'exercice de l'action en partage :

1° Il faut la concilier, en premier lieu, avec la nécessité de l'autorisation maritale pour la femme qui agit *communi dividundo*. Il n'en résulte aucune difficulté sérieuse, mais les solutions certaines que l'on est amené à soutenir en pareil cas, vont achever de caractériser le système, et le fondement juridique sur lequel je l'ai fait reposer.

Supposons que la femme et le mari, appelés l'un et l'autre à recueillir, avec d'autres cohéritiers, une certaine masse de biens, provoquent de concert le partage de cette masse, dont ils doivent prendre l'un et l'autre leur part : supposons maintenant que la femme, au cours de l'instance, veuille charger un autre avoué de ses intérêts (1). Comme elle a besoin, pour le faire, de l'autorisation de son mari ou de celle de justice, et que le premier la lui refuse, elle s'adresse à la seconde, et soutient devant elle, qu'étant maîtresse de l'action en partage en ce qui la concerne, elle tient à la séparer de celle que son mari a le droit exclusif de diriger dans son propre intérêt.

Il est difficile de nier que la justice ait le droit de refuser l'autorisation. C'est en effet la solution qui prévalut devant la Cour de Paris (2), dans le litige que je rapporte. Acceptant l'extension de l'article 818 au régime dotal, sous lequel étaient mariés les époux, la Cour jugea que le concours de la femme à l'action en partage, positivement requis par ce texte, « n'entraîne pas nécessairement le droit d'agir par action séparée, lorsqu'il ne se manifeste aucune

(1) L'avoué primitif restant chargé de deux autres poursuites, dont la direction appartient au mari : c'est l'hypothèse de l'arrêt que je cite plus loin.

(2) Paris, 14 juillet 1845, Sirey, 1845, II, 501.

opposition d'intérêts entr'elle et son mari, bien moins encore quand leurs intérêts sont communs et identiques. » L'arrêt de la Chambre civile s'appropria la doctrine de la Cour de Paris, en résumant les motifs que je viens de reproduire (1).

Il en résulte que la femme, si elle dispose de l'action en partage, est exposée à s'en dessaisir en en provoquant l'exercice. Elle peut bien imprimer au mécanisme le mouvement initial : elle ne conserve pas la direction de ce mouvement ; elle ne peut pas davantage l'arrêter seule, en se désistant de l'action. Son désistement, comme son intervention positive au cours de l'instance, n'est valable que si elle est autorisée de son mari ou de justice : l'un et l'autre peuvent refuser encore l'autorisation demandée (2).

La solution est banale, et je ne me serais pas arrêté à la relever s'il ne me paraissait qu'elle jette une vive lumière sur le caractère du retrait de l'action en partage des mains du mari. — Supposons pour un moment que ce retrait s'explique par cette idée, que le mari n'encourrait aucune responsabilité à poursuivre le partage. Ne serait-il pas étrange que le pouvoir discrétionnaire qu'ont les tribunaux de refuser à la femme l'autorisation qu'elle demande à fin de désistement, fût mis par eux au service du mari, pour lui permettre de procéder à un acte qui ne saurait jamais engager sa responsabilité ? Si telle devait être sa condition juridique après le partage, à tel point que le droit de provoquer ce partage lui échappât à raison de l'impossibilité où l'on serait de lui reprocher un partage mal fait, comment comprendre qu'il puisse jamais s'y mêler et le diriger seul, quand la loi donne à la justice un moyen radical de l'en empêcher ? — Pareillement, et pour revenir en deux mots sur la conception très différente qu'on rencontre dans les arrêts, si l'impossibilité pour le mari d'agir seul en partage

(1) Cass, 21 janvier 1846, Sirey, 1846, I, 263.

(2) Voy. Rousseau et Laisney, *Dictionnaire de Procédure*, v° Désistement n° 11, (IV, 4.)

s'explique par cette idée, que l'action en partage n'est pas une action dirigée contre les détenteurs des biens dotaux, comment admettre que l'intervention de la femme au début de l'instance modifie le caractère qu'on attribue à cette action, au point que le mari puisse désormais conserver exclusivement la direction du litige ?

L'une et l'autre conception, celle des arrêts comme celle de l'arrêtiste, me paraissent réfractaires à la doctrine incontestablement vraie de la Cour de Paris. Cette doctrine suppose une conception contraire, où, comme je vais le montrer, s'expliquent sans peine l'intervention de la justice en faveur du mari, et son refus d'autoriser la femme à diriger personnellement l'instance ou à la déserter.

Lors en effet que la justice constate qu'il n'existe aucune opposition d'intérêts entre les époux, la preuve en étant fournie par l'initiative ancienne de la femme et par les faits récents du procès, l'exagération de responsabilité que le mari et la femme pourraient redouter l'un et l'autre n'est plus à craindre. Il serait à propos que le droit commun de l'art. 1549 reprit son empire, et le mécanisme de l'autorisation maritale fonctionne à point dans ce but. — Il suffit, pour la protection de la femme, qu'elle puisse agir de nouveau, quand une opposition d'intérêts entr'elle et son mari se révèlera. Ce jour là, il est sûr que la justice ne lui marchandera pas son appui.

2° J'indiquerai une seconde application de l'explication que j'ai proposée. Je l'ai annoncée comme probable en jurisprudence, et je vais préciser le sens de cette épithète.

Il est sûr aujourd'hui que le mari ne peut seul provoquer le partage où sont engagés les intérêts dotaux de sa femme : le dissentiment ne porte que sur la cause et le fondement juridique de cette doctrine. Mais les auteurs s'arrêtent à mi-chemin. Que va-t-il arriver, si le partage auquel a participé la femme est affecté de l'un des vices classiques : dol, violence, ou

lésion ? L'action qui tend à provoquer de ce chef la nullité ou la rescision du partage appartient-elle au mari ?

Je n'ai trouvé dans les recueils aucun arrêt qui tranche la question (1). Je pense, conformément à la doctrine que j'ai soutenue, qu'il faut la résoudre négativement. L'esprit général des solutions positives que les arrêts m'ont fournies m'engage à le faire, et si rien dans les arrêts ne prouve directement que j'aie raison, tout le suppose. Cette nouvelle solution reste au moins probable, si elle n'est pas tout à fait certaine.

Elle m'est imposée en tous cas par l'explication que j'ai donnée de l'extension de l'art. 818 au régime dotal. Permettre au mari de provoquer la rescision (2), et l'y obliger, du même coup, serait aussi dangereux pour lui et pour sa femme que lui conférer le droit de poursuivre le partage : c'est une observation banale, qu'il me paraît inutile de développer. Je ne suis pas bien sûr, au contraire, qu'il soit logique de refuser au mari cette nouvelle action, si l'extension de l'art. 818 au régime dotal se justifie, — soit par l'absence de toute responsabilité à la charge du mari copartageant, — soit par l'absence du titre de propriétaire dans sa personne.

II

On présente ordinairement l'extension de l'art. 818 au Régime dotal comme la seule exception que subissent les droits du mari à exercer les actions de sa femme. Je ne suis pas

(1) Le sommaire de l'arrêtiste sur celui de la Cour d'Aix, 9 janvier 1810 (Sirey, 1809-1811, II. 181) indique bien qu'il s'agissait, dans l'espèce, d'une action en rescision. Mais l'arrêt ne dit pas ce que l'arrêtiste lui fait dire, et le dirait-il, je ne me croirais pas autorisé à maintenir la même solution dans la jurisprudence actuelle, puisque le principe sur lequel se serait appuyée la Cour d'Aix — limitation de l'art. 818 au régime de Communauté, — est aujourd'hui repoussé en pratique.

(2) Ou la nullité ; je ne distingue pas.

bien sûr que ce soit la seule, et j'essayerai d'en indiquer au moins une autre, que la jurisprudence bien analysée me fournit, et qui s'explique par les mêmes raisons que la première. La doctrine que je viens de soutenir trouvera par conséquent une confirmation nouvelle dans les développements qui vont suivre, et c'est pour cela que je me suis arrêté si longuement à l'exposer.

On a beaucoup discuté sur le caractère de la transaction. Les avis restent partagés encore sur le point de savoir si elle est déclarative ou translative des droits que chacune des parties abandonne à l'autre pour éviter un procès. — Sans ranimer, au sujet du régime dotal, une controverse devenue banale, et dont la discussion ne se rattacherait que très indirectement à mon travail, je dois indiquer tout au moins que la question n'est pas clairement posée dans ces termes ; une rapide analyse de l'institution me paraît être le préliminaire obligé de mes nouveaux développements.

Je rapprocherais volontiers la transaction du partage. Le partage renferme une aliénation, et cette aliénation ne ressemble pas à une aliénation ordinaire : de même, on ne transige pas sans aliéner, et cependant, lorsqu'on transige, on n'aliène pas de la même façon qu'on aliène ordinairement. On aliène dans une intention déterminée : on retire d'un ensemble de prétentions douteuses un droit défini ; on échange ces prétentions contre ce droit, tout comme on échange un droit à une fraction de chacune des parties de la chose indivise contre un droit à la totalité d'un certain nombre de ces parties. La transaction, comme le partage, est donc avant tout l'exercice d'un droit : elle n'implique une aliénation véritable que parce qu'il est impossible qu'elle se réalise autrement. Comme le partage, en un mot, c'est une opération à double face ; il y faut distinguer le but et le moyen. Si, à ce dernier point de vue, elle implique aliénation, elle n'est, lorsqu'on envisage son

but, que l'exercice d'un droit antérieur, et elle figure à ce titre parmi les actes de gestion du patrimoine.

Par conséquent, il ne faudrait pas s'étonner qu'il appartint au mari de la conclure, pour éviter un litige relatif aux biens dotaux, si ses pouvoirs n'étaient pas limités par une théorie générale, dont son impuissance à provoquer le partage, est la première application. Je me hâte d'ajouter que personne n'a jamais défendu le paradoxe que je viens d'émettre, mais je suis peut-être plus à mon aise pour l'écarter que ne le sont les rares jurisconsultes (1) qui attribuent, aujourd'hui encore, au mari l'exercice de l'action en partage. Ces jurisconsultes, en bonne logique, devraient compléter cette faveur par la concession du pouvoir de transiger.

Ils ne le font pas, et ils ont raison : mais pourquoi ? C'est ce qu'ils ne disent pas, et c'est ce qu'il faut chercher.

Si l'on refuse au mari le pouvoir de transiger, la raison n'en est pas, à mes yeux, dans l'aliénation qu'elle implique, au même titre que le partage. Dans cette doctrine, en effet, la femme serait aussi impuissante que son mari à transiger, au moins ordinairement (2). Or, il est facile d'établir, avec l'appui des arrêts, qu'elle peut conclure au contraire une transaction sérieuse, à l'occasion d'un procès dont l'issue est incertaine (3).

En réalité, le pouvoir de transiger est enlevé au mari pour les mêmes raisons qui le privent déjà du pouvoir de partager. Les deux opérations se ressemblent, en effet, par les dangers communs que feraient courir aux époux le droit et l'obligation pour le mari de les réaliser. Ce sont des actes que leur nature juridique n'empêcherait pas de ranger parmi ceux que le mari peut et doit faire, mais qu'on laisse à la femme le soin de faire, par l'impossibilité où l'on est d'y régler avec justesse et précision le jeu de la responsabilité du

(1) V. Jouitou, *Etude sur le régime dotal.*

(2) En cas d'inaliénabilité.

(3) Je renvoie simplement à l'arrêt de la Cour de Grenoble, du 20 janvier 1865 (Sirey, 1865, II, 240) qui me paraît être le monument capital de la jurisprudence sur ce point.

mari : dans la transaction comme dans le partage, les risques seraient trop grands. Bref, impuissant à partager, le mari doit l'être aussi à transiger : le rapprochement n'a rien de bien neuf, puisqu'on le fait inconsciemment tous les jours dans la langue vulgaire : partager une chose et partager un différend, c'est toujours partager.

III.

De la transaction, je passe au compromis.

Si l'on peut hésiter à voir dans la première l'exercice d'un droit et la solution d'un litige, si l'on peut exagérer son caractère contractuel au point d'en faire une transaction au sens large du mot (1), il n'en est pas de même du compromis. Contrairement aux idées romaines, la sentence arbitrale est aujourd'hui un véritable jugement. Le titre du Code de Procédure, qui lui est consacré, témoigne assez de la justesse de cette formule pour m'épargner la peine de la développer ici.

Par conséquent, et sauf ultérieure discussion, rien en théorie pure ne s'opposerait à ce que le mari, maître des actions dotales, pût les exercer sous cette forme, et préférer à la justice publique une juridiction privée qu'il composerait à son gré sous sa responsabilité. Les faits prouvent que cette induction sommaire lui a paru quelquefois juste (2).

La jurisprudence, au contraire, ne l'a jamais accueillie, et il me semble utile d'en rechercher les raisons.

J'en indiquerai une qu'on donne toujours, parce qu'elle paraît péremptoire à première vue, et qu'elle l'est peut-être en effet dans un cas. — L'art. 83 du Code de Procédure exige, dit-on, que le ministère public recoive communication des causes dans lesquelles est intéressée la dot. L'art. 1021 du même Code dispense

(1) Voy. à titre d'exemple, art. 631 Cod. Comm.

(2) C'est le cas pour l'espèce de l'arrêt de Cassation du 29 janvier 1838 Sirey, 1838, I. 751.)

de cette communication les sentences arbitrales dont l'*exequatur* est demandé au président du tribunal civil. Par suite, permettre au mari d'exercer les actions dotales sous cette forme, ce serait les soustraire à l'empire de l'art. 83.

Sans rechercher si la meilleure conciliation des textes précités ne consisterait pas à obliger le mari ou ses adversaires à communiquer au ministère public la sentence dont l'*exequatur* est demandé, je répondrai que la communication au ministère public est exigée dans l'intérêt et pour la protection de l'inaliénabilité de la dot. Les parties n'y sont par conséquent tenues qu'autant que la dot, à l'occasion de laquelle s'élève un procès, n'a pas été stipulée aliénable en contrat de mariage (1). Si donc on retire au mari, dans ce cas, la faculté de compromettre, par la difficulté qu'il y aurait à concilier, en lui laissant cette faculté, les art. 83 et 1021 du Code de Procédure, pourquoi faire de même quand cette difficulté ne se présente pas, je veux dire quand le contrat de mariage soustrait à l'inaliénabilité les biens dotaux ?

On dit souvent, et je n'y contredis pas, que, le mari n'ayant jamais la libre disposition de l'objet du compromis, il est impossible de l'autoriser à compromettre. C'est en effet un principe consacré par l'art. 1003 du Code de Procédure, qu'on ne peut compromettre que sur les droits dont on a la libre disposition. — Le raisonnement n'est pas des plus solides : l'art. 1003 me paraît étranger à la question. Car il détermine la *capacité* requise à l'effet de compromettre, mais non pas, je crois, la qualité du *pouvoir* exigé à cette fin. Or la difficulté consiste justement à savoir si et pourquoi il faut enlever au mari le *pouvoir* de compromettre : cette difficulté, l'art 1003 la laisse entière, et je veux lui donner toute sa force avant de la résoudre.

(1) V. Garsonnet, *Cours de Procédure*, 1882, I. 347 et suiv. (§ 87, 3°, texte et note 22.)

Enlever au mari ce pouvoir, c'est déclarer que les pouvoirs généraux dont il est investi ne le comprennent pas. Et il est inutile de se dissimuler que l'étendue ordinaire de ces pouvoirs généraux conduirait à présumer le contraire. La femme, en effet, lorsqu'elle adopte le régime dotal, investit son mari des droits les plus exorbitants, lui confie l'exercice des actions dont la réussite ou l'insuccès retentiront sur sa fortune entière. Quels scrupules faut-il imaginer chez elle, pour qu'on lui prête l'intention de limiter aussi rigoureusement l'exercice de ces actions et de ces droits à une forme déterminée de procédure et de poursuite ? Comment la concession des droits les plus étendus n'entraîne-t-elle pas celle du pouvoir de compromettre sur le moindre des intérêts dotaux ?

La même idée générale que j'ai indiquée en m'occupant du partage et de la transaction me paraît seule assez forte pour imposer une pareille mutilation des droits du mari. La même aggravation de responsabilité dont le mari et la femme auraient à craindre, suivant les cas, l'effet ou l'inutilité, si l'on accordait au mari le droit de partager ou de transiger, se retrouverait encore dans l'exercice du pouvoir de compromettre, si le mari était investi de ce pouvoir. — Sans doute, la difficulté qu'il soumettrait à des arbitres serait moins complexe que celles que peuvent soulever le partage et la transaction : la nature du litige ne saurait dès lors aggraver outre mesure sa responsabilité, comme cela se produirait inévitablement en matière de partage et de transaction. — Mais l'emploi de cette procédure anormale conduirait au même résultat. La juridiction privée qu'instituerait le mari éveillerait de légitimes soupçons, et sa responsabilité pourrait devenir fort lourde. C'est l'intérêt commun des époux d'éviter la condition même de cette responsabilité à la fois accablante et inefficace, je veux dire le compromis. — Quand il s'agit de partager ou de transiger, l'eau est trouble, et on défend au mari d'y pêcher : quand l'eau est claire, pourquoi tolérer qu'il la trouble ?

Je prie mes lecteurs d'excuser la métaphore : mais elle traduit si bien ma pensée que je demande la permission de la continuer. Car, en même temps qu'elle peint vivement la parenté de la transaction, du partage et du compromis, elle révèle entre ces divers actes une différence que je dois indiquer. — Le partage et la transaction sont des opérations nécessairement complexes : le droit commun du régime dotal ne permettra jamais au mari de les faire ; quelques soins qu'il y mette, quelques précautions qu'il prenne, l'eau est trouble. — On ne saurait dire la même chose du compromis. Le plus souvent, le litige qu'il aurait pour objet de résoudre est circonscrit et limité : on n'y rencontre pas le même enchevêtrement de questions que dans le partage et la transaction. Si donc on refuse au mari le pouvoir de soumettre ce litige à des arbitres, c'est qu'ordinairement la valeur même de l'intérêt en jeu rendrait suspecte son intervention sous cette forme. La conclusion se devine. Quand cet intérêt sera minime, la limpidité de l'opération sera telle, que la jurisprudence laissera au mari le pouvoir qu'elle préfère lui enlever ordinairement : il pourra compromettre. Je citerai en ce sens un arrêt de rejet de la Chambre civile du 31 Décembre 1834 (1), qu'il me paraît difficile d'expliquer autrement. Il s'agissait dans l'espèce du bornage d'un fonds dotal. Ce bornage avait été fait avant le mariage, et les intéressés en avaient consigné le résultat dans un procès-verbal. Pendant le mariage, un éboulement de mur en fit disparaître les marques. Le mari et son voisin confièrent à des arbitres le soin de rétablir le bornage primitif, « conformément aux indications de l'acte ancien. » Le mari attaqua ultérieurement leur décision, qui fut maintenue.

Il n'y a donc pas incompatibilité absolue entre le rôle du mari et le pouvoir de compromettre. Les pouvoirs généraux dont il est armé comprendraient même ce pouvoir spécial, si l'on s'arrêtait à la physionomie d'ensemble et aux grandes

(1) Sirey 1835, I, 541.

lignes de la constitution juridique du compromis. Dans le droit moderne, c'est un jugement : c'est la fin d'une instance. Mais la direction de cette instance échappe au mari à cause des conséquences lointaines qu'elle entraînerait presque toujours pour sa femme et pour lui.

Et de là est née, je crois, la jurisprudence qui refuse à la femme elle-même le droit de compromettre. Une fois admis que les dangers du compromis sont assez forts pour effacer le caractère apparent que la loi lui donne, et pour obliger les tribunaux à le retirer de la catégorie des actes que le mari a le pouvoir de faire, on a dû se demander si la femme ne pourrait pas suppléer le mari sur ce point, comme elle peut le suppléer dans un partage et dans une transaction. L'art. 1003 contenait la réponse : on ne peut compromettre que sur les biens dont on a la libre disposition, et la femme n'a pas la libre disposition de sa dot. Elle est incapable de l'aliéner et se trouve dès lors directement frappée par l'art. 1003 (1). Le compromis devient pour elle tout autre chose que ce qu'il serait pour le mari : pour le mari, ce serait une forme de procédure et un acte d'administration ; pour elle, c'est un acte d'aliénation de la dot.

En résumé, le partage, la transaction, le compromis sont des opérations semblables que les pouvoirs généraux du mari lui permettraient fort bien de faire seul, si l'on s'en tenait au caractère juridique de ces opérations. Ce caractère n'aurait pas suffi à leur faire une condition spéciale et à leur assigner une place à part. Ce sont leurs dangers éventuels qui ont amené la jurisprudence à refuser au mari le droit de les faire. Les considérations d'utilité pratique ont été plus fortes que le jeu

(1) A condition que l'on admette, — ou bien que l'inaliénabilité dotale est une véritable incapacité ; c'est la théorie qui domine aujourd'hui — ou bien que l'inaliénabilité dotale fonctionne, dans certains cas, de la même façon qu'une incapacité, sans être une incapacité proprement dite ; ce dernier point de vue me paraît beaucoup plus exact.

des notions abstraites. Il faut que ces notions abstraites, que ces théories juridiques, se plient aux nécessités de la vie, et aux données de l'expérience, dont elles sont issues.

IV.

J'ai limité jusqu'à présent mes recherches au régime dotal ordinaire. Je n'ai pas dit un mot du cas où les époux en ont modifié les règles. J'aborde maintenant ce côté de mon sujet, qui présente à mes yeux un très grand intérêt, car les arrêts que je vais analyser me serviront à compléter les preuves de la théorie que je viens de résumer.

Ce que la jurisprudence refuse au mari, la femme peut le lui donner. Rien n'empêche les époux d'augmenter en contrat de mariage les pouvoirs ordinaires du mari et d'y comprendre le droit de partager, transiger et compromettre. Une responsabilité un peu lourde en résultera pour lui : mais la clause dont j'ai à m'occuper prouve qu'il ne la redoute pas plus que la femme n'en redoute l'inefficacité.

Il n'arrive malheureusement pas toujours que les époux aient parlé clair. La question délicate qui surgit alors est celle de savoir de quels termes on induira la concession de ce droit exorbitant au mari. C'est ici, justement, que la jurisprudence mérite qu'on la fouille.

On sait combien les tribunaux sont rigoureux et difficiles, quand il s'agit pour eux d'étendre à des actes que la femme n'a pas formellement prévus, la liberté qu'elle s'est réservée, en se mariant, de disposer de sa dot. Quand elle a stipulé qu'elle pourrait aliéner ses biens dotaux, la jurisprudence n'en conclut pas qu'elle puisse les hypothéquer ou s'obliger sur eux. En un mot, elle interprète aussi étroitement qu'elle peut le faire la clause qui déroge à l'inaliénabilité dotale.

Elle procède ici tout autrement. Elle n'exige ni formules précises, ni stipulations bien nettes. Pour peu que la femme ait voulu étendre les pouvoirs de son mari, elle en conclura complaisamment qu'il peut transiger, partager, compromettre. L'interprétation large remplacera l'interprétation stricte qu'elle applique ailleurs avec tant de finesse et de fermeté à la fois. Elle sera aussi libérale envers le mari qu'elle est parcimonieuse envers la femme.

Je citerai d'abord un arrêt de la Cour de Grenoble, du 18 janvier 1849 (1), où l'on a jugé que le mari, investi par contrat de mariage, du « pouvoir spécial d'exercer toutes les actions de sa femme, et de traiter de ses droits paternels et maternels » avait qualité suffisante pour provoquer le partage des biens indivis auxquels elle était appelée.

Un arrêt antérieur de la même Cour, du 12 février 1846 (1) a décidé que le pouvoir conféré au mari par la femme, « d'aliéner ses immeubles, sans autre condition que celle que cette aliénation serait faite en présence de la femme », emportait le pouvoir de compromettre sur les mêmes biens. La Cour de Nîmes a confirmé cette jurisprudence le 9 novembre 1849 (3), dans une hypothèse où le contrat de mariage « autorisait le mari à traiter sur tous les droits ou biens immobiliers présents et à venir de la future, même à les *céder*, *vendre*, *aliéner*. » (4)

Voilà une jurisprudence bien complaisante et bien souple, si l'on songe à la rigueur dont les Cours d'appel ont fait preuve dans l'interprétation des clauses favorables aux droits de la femme. — Il serait cependant aussi injuste que facile de critiquer leurs décisions. Sans doute, l'esprit de leurs décisions sur ce point n'est pas le même que celui des arrêts interprétatifs

(1) Sirey, 1852, II. 395.
(2) Sirey, 1846, II. 519
(3) Sirey, 1850, II. 93.
(4) On remarquera que le mot « *compromettre* » n'est pas prononcé.

des clauses qui concernent les droits de la femme : sans doute, il est singulier qu'on ait distingué entre les droits de la femme et les pouvoirs du mari. — J'en conclus provisoirement qu'il y a des raisons pour limiter au strict nécessaire les droits de la femme, et l'effet de la stipulation qui les réserve, mais qu'il y en a d'autres, tout aussi fortes, pour interpréter largement les clauses du contrat de mariage qui développent les pouvoirs du mari: ces dernières, je crois pouvoir les indiquer.

La transaction, le partage et le compromis ne sont pas naturellement étrangers au mari. Les pouvoirs généraux dont l'investit son titre lui permettraient de faire ces actes au nom de la femme et pour son compte. Des considérations d'utilité pratique s'y opposent et limitent le terrain sur lequel il agit. On peut dès lors sans témérité présumer chez la femme l'intention de rétablir les bornes qu'assignent à ce domaine les principes du droit. L'effort au contraire serait plus grand, et la tentative moins raisonnable, de permettre à la femme d'ajouter un droit nouveau à celui qu'elle s'est formellement réservé, lorsqu'il n'y a, de l'un à l'autre, ni rapport juridique, ni voisinage naturel.

Je dois ajouter que les Cours d'appel n'ont pas craint d'exagérer le contraste. Si la femme augmente les pouvoirs de son mari au point de lui permettre l'aliénation des biens dotaux, nous savons qu'on présumera qu'elle ne lui défend pas de compromettre sur les mêmes biens (1). Préfère-t-elle se réserver à elle-même le droit d'aliéner le fonds dotal, on jugera que la faculté qu'elle s'est attribuée n'emporte pas celle de compromettre (2).

Cette double solution n'a rien d'énigmatique, et j'en puis

(1) Nîmes, (précité) 9 novembre 1849. Sirey. 1850, II. 93.
(2) Nîmes, 26 février 1812, Sirey, 1812-1814, II. 45. — Lyon, 20 août 1828, 1828-1830, II. 140. — Montpellier, 15 novembre 1830, Sirey, 1831, II. 318.

justifier les termes. Dans l'hypothèse de 1849, il s'agissait des pouvoirs du mari, et l'extension que la femme leur avait donnée rendait au compromis sa physionomie réelle, je veux dire qu'il reprenait, vis-à-vis du mari, le caractère d'une instance et d'un jugement: il n'y avait par conséquent rien d'excessif à conférer au mari le pouvoir de le faire. Dans les hypothèses de 1812, 1828 et 1830, la question se posait tout autrement. La femme n'ayant pas touché aux pouvoirs du mari, le compromis conservait la nature tout artificielle que ses dangers lui donnent, dans le régime dotal: vis-à-vis de la femme, il n'était et ne pouvait être qu'un acte de disposition de la dot. Elle ne s'était pas formellement réservé le droit de le faire: cela suffisait pour qu'on le lui interdît.

En un mot, les solutions si différentes que les arrêts ont données à deux hypothèses presque semblables s'expliquent par le caractère différent qu'ils ont assigné au compromis dans l'une et dans l'autre. La présomption d'une différence dans la nature du compromis a produit celle de l'inexistence, pour la femme, ou de la concession, faite au mari, du droit de compromettre.

On me pardonnera la subtilité de cette explication, si l'on veut bien observer, qu'il est peut-être plus dangereux pour la femme de se réserver à elle-même que de conférer à son mari le droit de compromettre. Dans ce dernier cas, en effet, si elle s'en remet à lui et paraît abdiquer dans ses mains, la responsabilité qu'il peut encourir la dédommage. Elle tarit au contraire la source de cette responsabilité, lorsqu'elle s'attribue personnellement le droit de compromettre. L'autorisation dont elle a besoin pour en user ne saurait engager le mari qui la donne inconsidérément, à réparer le préjudice que peut entraîner un mauvais compromis. — Dans ces conditions, les Cours de Grenoble et de Nîmes avaient moins de peine assurément à étendre les pouvoirs du mari que celles de Lyon et de Mont-

pellier n'en auraient eu à étendre les droits de la femme. La logique abstraite et l'utilité pratique justifient de concert la différence des deux groupes d'arrêts.

Je résumerai d'un mot ces observations — La jurisprudence confirme tout à fait, par l'interprétation qu'elle donne aux stipulations extensives des pouvoirs du mari, la doctrine que je lui ai prêtée plus haut. Le droit de partager, transiger et compromettre n'est pas foncièrement étranger au mari : sans quoi, on comprendrait difficilement qu'il réapparût si vite à son profit.

CHAPITRE VI.

Des actions dirigées par les tiers contre le mari.

Je me suis occupé jusqu'à présent des actions dirigées contre les tiers par le mari, à l'occasion de la dot : je dois maintenant prévoir l'hypothèse inverse. Les quelques arrêts qui s'y réfèrent me paraissent confirmer encore les idées que je viens d'émettre dans les pages qui précèdent immédiatement celles-ci.

La question que je vais aborder est double. On peut supposer en effet, ou bien que les tiers contestent à la femme la propriété totale ou partielle de l'immeuble dotal : ou bien, qu'ils veulent se payer sur cet immeuble des dettes valables que la femme a pu contracter envers eux. En quelle forme faut-il que leur poursuite soit dirigée dans l'un et l'autre cas?

I.

Je ne connais et ne puis citer que deux arrêts qui se réfèrent au premier. La Cour de Bordeaux, le 16 mars 1827 (1), a jugé que l'action confessoire d'une servitude de passage sur le fonds dotal, devait être dirigée contre les deux époux conjointement. Le mari, qui peut seul intenter les actions dotales im-

(1) Sirey 1846, II. 17, note et renvoi de la note.

mobilières, et particulièrement l'action négatoire d'une charge réelle de ce genre, n'a pas qualité pour y défendre seul.

Un arrêt de la Cour de Riom, du 28 janvier 1844 (1), a suivi la même doctrine, en l'appliquant à la revendication par les tiers de l'immeuble que la femme s'était constitué en dot.

Ces deux arrêts sont anciens déjà, et le silence qu'observent sur eux les auteurs les plus récents (2) me ferait craindre que l'opinion moyenne des jurisconsultes fût peu favorable aux solutions qu'ont sanctionnées les Cours de Bordeaux et de Riom. Dussé-je encourir le reproche de faire du neuf en restaurant des vieilleries, je veux rechercher les raisons qui justifient la doctrine oubliée de ces deux Cours. — A supposer qu'une pratique nouvelle soit venue les démentir, leurs arrêts conservent le mérite que le caractère essentiellement historique de mon travail grandirait plutôt, de marquer l'esprit et les tendances de la jurisprudence que j'étudie. Je n'ai pas craint, au début de cette dissertation, de m'arrêter sur des arrêts plus singuliers que ceux dont je m'occupe maintenant ; leur étude éclairait ma route, en fixant la direction dans laquelle je devais m'engager.

Quel est donc le fondement juridique des arrêts de Bordeaux et de Riom ? Le rappel aussi rapide que possible de la théorie générale que j'ai soutenue jusqu'à présent me permettra de l'indiquer. — Le mari, administrateur général de l'apport de la femme, la représente en principe complètement vis à vis des tiers. Toutes les actions que la constitution de cet apport fait naître se fixent dans sa personne : la responsabilité qu'il peut encourir à les exercer fait contrepoids ; ses devoirs et ses droits sont indissolublement unis. Par suite, quand il est à craindre que la nature de ses droits rende ses devoirs trop lourds, et que toute proportion raisonnable entre ces droits et

(1) Sirey, 1846, II. 17.
(2) Voy. par exemple, Aubry et Rau, § 535, texte et note 7 (V, 546.)

les risques de responsabilité dont ils le chargent, disparaisse, — un trait de plume efface les uns et les autres. On limite ses droits, pour maintenir à son niveau moyen la responsabilité qui les accompagne : c'est le cas pour la transaction, le partage, et le compromis. Ne serait-ce pas là le cas pour la défense à la poursuite réelle des tiers?

Quand le mari provoque l'instance, la responsabilité qu'il peut encourir à ce titre n'a rien qui soit dangereux. Puisqu'il engage la lutte, c'est apparemment parce que ses conséquences ne l'effraient pas. Il en est tout autrement lorsqu'il observe une prudente réserve, qui ne prend fin que par l'initiative des tiers. Il ne court plus, comme tout à l'heure, au devant de la lutte et de la responsabilité qui peut la suivre : la responsabilité lui est imposée, comme la lutte. Il pourrait arriver qu'elle fût excessive, et sans rapport avec la direction qu'il a donnée au procès. Le même péril ne serait plus à craindre, si l'on a mis la femme en cause, et qu'elle ait pu surveiller l'affaire, qui l'intéresse encore plus que son mari. Les motifs de l'arrêt précité de la Cour de Bordeaux contiennent justement l'expression de cette idée (1).

Quelques fines et justes que soient les raisons qu'on allègue à l'appui de cette doctrine, de réelles difficultés pratiques l'accompagnent. A supposer qu'en fait on ait poursuivi l'instance contre le mari seul, peut-il en appeler du jugement rendu contre lui, et peut-il en appeler seul? En sens inverse, la femme peut-elle invoquer à son profit le jugement, si ce jugement a donné gain de cause au mari défendeur?

(1) On doit limiter l'effet de l'art. 1549 « au cas où le mari veut *agir contre* les détenteurs de la dot : il est facile d'indiquer les motifs de cette exception : *elle dérive de la responsabilité imposée au mari*... d'où résulte la nécessité de lui laisser la plus grande liberté pour intenter, même sans le consentement de la femme, toutes les actions attachées à la propriété de la dot : ce motif n'existe point, lorsqu'il ne s'agit que de défendre aux actions immobilières dirigées contre le fonds dotal.... »

Je ne connais pas d'arrêt qui ait résolu cette seconde question. Dans la doctrine des Cours de Bordeaux et de Riom, je crois qu'il est difficile de permettre à la femme de s'abriter derrière un jugement qui termine une instance où elle est réputée n'avoir pas été représentée. Ce jugement ne saurait préjudicier à ses droits : comment dès lors s'en prévaudrait-elle, s'il lui est favorable ? On ne conçoit pas qu'elle puisse changer d'attitude, suivant que le jugement donne gain de cause au mari ou le condamne. Ce serait à la fois peu équitable et peu logique.

En revanche, il est bien difficile d'interdire au mari d'en appeler, et d'en appeler seul, du jugement rendu contre lui. Ce serait faire une forte brêche à ses pouvoirs généraux que d'exiger le concours de sa femme pour la régularité de cet appel. — C'est en effet dans ce cas du côté des époux que vient l'attaque : le mari, dès lors, a seul qualité pour l'ordonner et la diriger, aux termes de l'art. 1549. — Sans doute, il ne dépouillera pas entièrement son rôle ancien de défendeur au procès : il n'en appelle que pour mieux défendre ; il reste défendeur et ne devient pas demandeur. Soit, mais tout cela n'a d'intérêt qu'au point de vue de la procédure : au point de vue de ses rapports avec la femme, il sera vrai de dire qu'il exerce une action dotale : car il ne subit plus la poursuite du tiers, comme lorsqu'il était défendeur en première instance ; il accepte les risques de sa responsabilité future, en prenant l'initiative de cette lutte nouvelle : bref, au sens juridique du mot, il agit. La femme, par conséquent, n'a point à se mêler au procès : tout doit se passer comme s'il s'agissait d'une instance ordinaire, où il serait demandeur.

La conséquence pratique est bien remarquable et bien embarrassante. — Si tout doit se passer comme dans une instance ordinaire provoquée par le mari, il y aura chose jugée, après l'arrêt et par l'effet de l'arrêt, entre la femme et le tiers

intimé, aussi bien qu'entre ce tiers et le mari appelant. — Voilà qui surprend. Le jugement de première instance et l'arrêt d'appel vont différer du tout au tout : le jugement de première instance, rendu contre le mari, n'avait aucun effet à l'égard de la femme ; l'arrêt au contraire, que le mari ait échoué ou triomphé, lui profitera ou l'atteindra. Mais si ce jugement lui est absolument étranger, comment comprendre qu'il en soit autrement de l'arrêt consécutif à l'appel interjeté contre ce jugement ? Il y a là une difficulté insoluble.

Mieux vaut dès lors envisager les arrêts de Bordeaux et de Riom comme une double preuve de la tendance de la jurisprudence à ménager la responsabilité du mari : c'est bien là l'idée qui fait le fond de la doctrine à laquelle ils se rattachent. — Les mêmes considérations qui ont permis aux tribunaux de retirer au mari le droit de partager, transiger et compromettre, les ont amenés à exiger que la femme soit mise en cause dans toute procédure dirigée contre lui comme *dominus dotis*.

II

I. — Je vais supposer maintenant qu'il a pour adversaires des créanciers de la femme qui saisissent, — et peuvent saisir, — dans ses mains l'apport qu'elle a fait.

Les auteurs s'accordent à exiger que la saisie soit dirigée conjointement contre la femme et le mari. L'argument est net et précieux à relever : il est fondé sur l'art. 2208 C. Civ. « L'expropriation des immeubles de la femme *qui ne sont point entrés en communauté*, — dispose le texte, — se poursuit contre le mari et la femme. » Raisonnement tout à fait semblable à celui qu'on fait au sujet du partage des biens indivis auxquels la femme est appelée : on étend aux biens dotaux, —

qui n'entrent point en communauté, puisqu'il n'y a pas de communauté, — l'art. 2208, qui vise avant tout les biens de la femme sous le régime de la Communauté, — absolument comme on étend déjà l'art. 818 aux mêmes biens.

Quant à la jurisprudence, je ne connais pas d'arrêt qui ait résolu directement la question. J'en puis citer un de la Cour de Bordeaux, du 29 août 1855 (1), où l'on voit que les créanciers de la femme avaient dirigé contre les deux époux la saisie de l'immeuble dotal. Rien ne témoigne dans l'arrêt que la saisie dirigée contre le mari seul, eût été annulée à ce titre. La seule trace que cette doctrine ait laissée dans la jurisprudence est contenue dans l'arrêt précité de la Cour de Riom (2), du 28 Janvier 1844. Il y est fait à l'art. 2208 une courte et fugitive allusion.

L'unanime assentiment des auteurs ne me permet pas d'élever un doute sur la réalité de cette exigence en pratique : je viens de montrer au surplus que la jurisprudence n'y est pas contraire. Je constate et j'accepte, par conséquent, cette extension nouvelle au régime dotal, d'un texte relatif au régime de la Communauté. La fréquence de ces emprunts me servira, dans une autre étude, à rapprocher ces deux régimes l'un de l'autre.

II. — Le rôle du mari dans la saisie de l'immeuble par les créanciers de la femme est donc aisé à fixer, tant qu'il s'agit de la régularité de la saisie quant aux personnes qu'elle menace. — La question paraît moins claire, et les difficultés naissent, lorsque l'irrégularité de la saisie tient au caractère de l'immeuble qui en est l'objet : c'est à l'inaliénabilité dotale que je fais allusion.

Je puis et je dois supposer que les créanciers de la femme saisissent l'immeuble dotal, au mépris de l'inaliénabilité qui le frappe. — Sans doute, cet immeuble n'est pas leur gage ; il est insaisissable, précisément parce qu'il est inaliénable. Mais

(1) Sirey. 1856. II, 679.
(2) Sirey 1846 II, 17.

comment et par qui cette double qualité se trouve-t-elle garantie, lorsqu'en fait elle est méconnue? Appartient-il encore au mari seulement d'écarter de l'immeuble les créanciers de sa femme, ou bien celle-ci peut-elle prendre également contre eux les armes que lui offre le droit commun, de telle sorte que l'adjudication devienne définitive à son égard, malgré l'irrégularité primitive de l'opération, lorsqu'elle s'est tue ?

Je crois utile d'indiquer avant tout, quels sont les moyens dont les époux disposent pour tenir les créanciers en échec, et enlever son effet à la saisie. Bien que ces moyens ne soient pas autre chose que des garanties de l'inaliénabilité dotale, dont je n'ai point à m'occuper ici, — les quelques développements que je leur consacre ne sont pas plus étrangers à mon sujet que ne l'étaient ceux que j'ai dû consacrer à l'exercice de la revendication de l'immeuble dotal par le mari, quand les époux ont irrégulièrement aliéné cet immeuble. L'action en nullité que cette revendication renferme est sûrement une sanction de l'inaliénabilité de l'immeuble, au même titre que les moyens de procédure par lesquels on peut écarter la saisie qui le frappe : j'aurais incomplètement défini le rôle du mari si je ne m'étais occupé de cette action en nullité, en tant que l'exercice lui en est dévolu ; je définirais encore incomplètement son rôle ici même, si je ne m'occupais de ces moyens, en tant que leur emploi dépend de son intervention.

On peut imaginer trois moyens différents, pour maintenir en pratique l'inaliénabilité de l'immeuble contre les créanciers de la femme. Ces trois moyens se réduisent, en réalité, à deux.

1° Les créanciers de la femme ont irrégulièrement procédé sur leur débitrice (1) : la nature de leur titre ne leur permettait pas de saisir l'immeuble qu'ils ont saisi. On peut les comparer à des créanciers dont le titre est frappé de nullité :

(1) Voir Dalloz, *Code de Procédure civile annoté*, art. 728.

c'est au mépris de cette nullité qu'ils ont agi. — Le moyen de procédure ouvert aux époux dans ce cas, n'est autre que la demande en nullité de la saisie. L'art. 728, Cod. Proc. Civ., leur impartit un délai fixe pour la former, et, s'ils négligent de le faire, la saisie et l'adjudication qui la termine deviennent irrévocables.

2° Les créanciers de la femme ont régulièrement procédé, mais sur une personne qui n'était pas leur débitrice : la qualité de l'immeuble ne leur permettait pas d'y appliquer leur titre. On peut les comparer à des créanciers qui saisissent les biens d'un tiers étranger à la dette. — Le moyen de procédure ouvert aux époux, dans ce cas, n'est pas le même que tout à l'heure : ils formeront une demande en distraction, qui n'est, au fond, qu'une revendication incidente à la saisie, revendication poursuivie par le tiers indûment saisi ou par son représentant.

3° Aucun délai de rigueur ne limitant l'exercice d'une pareille action, la saisie et l'adjudication se poursuivront, faute de protestation de la part des époux, mais sans devenir pour cela plus solides. La femme pourra ultérieurement, et par voie d'action principale, revendiquer son immeuble dans les mains de l'adjudicataire. Troisième procédé, qui se confond avec le second, dont il n'est que la suite et la mise en œuvre, quand la saisie est achevée.

Telles sont les armes que ménagent aux époux les textes et les principes, quand l'immeuble dotal est indûment saisi par les créanciers de la femme. Avant d'indiquer celle de ces armes dont les arrêts permettent exclusivement l'emploi aujourd'hui, je veux rechercher si l'un et l'autre époux, à son choix, pourrait toutes également les manier.

S'il faut que la défense à la saisie prenne la forme d'une demande en distraction, si elle implique à ce titre une revendication de l'immeuble, une seule personne a qualité pour diri-

ger la défense, former la demande, et intenter l'action : c'est le mari. On agit contre sa femme et lui : s'il faut agir, au sens juridique du mot, pour se défendre, lui seul en a le pouvoir. — Et, comme il est impossible d'admettre, — d'une part, que son inertie ou sa mauvaise foi privent la femme de la garantie de l'inaliénabilité, en favorisant la perpétration de la saisie de l'immeuble, — d'autre part, que la revendication, qu'il n'intente pas, disparaisse pour cette raison, alors qu'elle ne disparaît pas lorsqu'il a négligé de la poursuivre contre un tiers possesseur de l'immeuble, — la conséquence rigoureusement logique de cette doctrine est la faculté pour la femme de revendiquer elle-même l'immeuble contre l'adjudicataire, — quand la dissolution du mariage ou la séparation de biens lui a rendu l'exercice de ses actions. — Pour ménager à l'adjudicataire la sécurité qui lui est due, il est de toute nécessité que la femme puisse intervenir à la saisie, et protester contre elle, quand il en est encore temps. — Mais elle ne peut le faire que si l'on transforme la demande en distraction de l'immeuble en une demande en nullité de la saisie. Alors en effet, la défense à la saisie ne sera plus une action proprement dite, voilée sous le masque transparent d'une procédure incidente à la saisie, et dévolue au mari seul en cette qualité. La défense à la saisie deviendra vraiment une défense, et la permission donnée à la femme de s'ingérer dans la procédure n'impliquera plus qu'on l'associe, en dépit du Code, à l'administration positive et active de son mari.

J'ai ainsi résumé sur ce point l'évolution de la jurisprudence, dont il ne me reste plus qu'à indiquer les monuments : car elle s'est attachée successivement aux deux conceptions dont je viens de montrer les conséquences pratiques.

Au début, le système de la demande en distraction règne sans discussion ni partage, et la femme conserve la revendication que le mari a négligé d'exercer pour elle. C'est sous

la forme de cette conséquence que le principe est admis, le 11 juin 1828, par la Cour de Cassation (1). « Il ne s'agit pas d'une action en nullité de la procédure, — avait dit la Cour de Toulouse, dont l'arrêt est confirmé, — mais d'une demande en distraction de la dot, exercée par la femme, comme tierce personne, qui était en puissance de mari à l'époque de la saisie, qui n'avait pas alors l'exercice de ses actions dotales, et qui n'a pu revendiquer la dot qu'après la dissolution du mariage. » La Cour de Pau s'approprie ce raisonnement, le 5 mars 1833 (2) : « La femme était sous la puissance de son mari, lorsque l'expropriation a eu lieu : par conséquent elle ne pouvait point agir pour s'opposer à la vente du fonds dotal : son mari seul en avait le droit. » La même doctrine est sanctionnée, le 10 juillet 1837, par la Cour de Lyon (3), — le 8 mars 1849, par le tribunal d'Oloron (4). « Il ne faut pas confondre, disent les juges, le moyen de nullité de la procédure en expropriation, pris du fond du droit, avec une demande en revendication, que le saisi ou un tiers peuvent exercer par action principale, même après l'adjudication. » La Cour de Pau continue, le 16 juin 1849 (5). « La déchéance qui est prononcée par l'art. 728 ne peut atteindre la femme, qui, ne s'étant pas fait séparer de biens d'avec son mari, ne pouvait, ni attaquer la saisie poursuivie contre lui, ni former une demande en distraction. » — Ces derniers mots de l'arrêt semblent même faire allusion à la demande en nullité de la saisie, et supposer que la femme serait impuissante à la former, pour les mêmes raisons qui ne permettent pas qu'elle agisse en distraction. — Le 15 décembre 1851, la Cour d'Agen (6) rétablira en ces termes la

(1) Sirey 1828-1830, I, 108.
(2) Sirey, 1833, II, 423.
(3) Sirey, 1837. II, 466.
(4) Sirey, 1849, II, 305.
(5) Sirey, 1850, II, 129.
(6) Sirey, 1852, II, 365.

vérité juridique de l'époque. « La déchéance prononcée par l'art. 728, ne concerne que les moyens de nullité à opposer, tant en la forme qu'au fond, contre la procédure de saisie immobilière : il s'agit, au contraire, dans l'espèce, d'une demande en revendication d'immeubles indûment saisis..... Il est vrai, poursuit la Cour, que la femme aurait pu demander la distraction des biens sans demander la nullité de la saisie. » — Voilà qui dépasse le but, et contredit, non seulement l'arrêt de la Cour de Pau, mais tous ceux qui l'ont précédé. — Tant que durent les pouvoirs du mari, affirme la jurisprudence antérieure, c'est lui seul qui peut former une demande en distraction. — La femme ne pourrait même pas demander la nullité de la saisie, ajoute, par une exagération manifeste, la Cour de Pau. — Sans doute, elle ne pourrait demander la nullité de la saisie, lui répond la Cour d'Agen ; mais parce que la distraction seule est possible, et qu'elle est possible, même pour elle : ce n'est pas le pouvoir qui lui manque pour demander la nullité, puisque je lui permets d'agir en distraction ; ce qui lui manque, c'est l'arme, c'est le moyen : la demande en nullité, je ne la conçois pas.

Mouvement de jurisprudence bien remarquable, et qui annonce une évolution prochaine, je veux dire le triomphe d'une doctrine entièrement opposée à celle que je viens d'analyser. — La doctrine ancienne, — caractérisée par la double idée qu'il ne peut s'agir ici que d'une demande en distraction, et qu'il ne peut appartenir qu'au mari de former une demande pareille, — cède sous la pression de sa rivale, qui n'a cessé de grandir et d'envahir le terrain depuis quelques années. De là cet arrêt si curieux de la Cour d'Agen, dans lequel, par une évidente contradiction de ses motifs, la doctrine ancienne a conservé l'une de ses positions : la distraction seule est possible, — et perdu l'autre, qui est cependant si fortement liée à la première : la femme ne peut attaquer la saisie.

Aussi bien, c'est un arrêt de la cour de Poitiers, du 20 juillet 1852 (1), qui fermera la marche, et la conception primitive de la jurisprudence aura vécu. Dans cet arrêt, cette conception s'affirme avec beaucoup de force, comme si l'éclat d'une doctrine n'était jamais plus vif qu'à la veille de sa ruine. — Le mari avait négligé d'agir en distraction pendant la saisie: l'adjudication prononcée, il revendiqua dans les mains de l'adjudicataire l'immeuble indûment saisi. La cour lui donna gain de cause, en écartant expressément de cette revendication tardive — comme elle l'eût écartée de la revendication incidente à la saisie, — la femme, que ni la séparation de biens ni la dissolution du mariage n'avait investie à nouveau des actions dotales.

Cet arrêt de la cour de Poitiers termine l'évolution. La jurisprudence, après s'être lentement éloignée de la conception primitive que j'ai fait connaître, va se rattacher à une idée plus fine et tout opposée, où le droit personnel de la femme à protester contre la saisie, rendra définitive l'adjudication qui l'aura couronnée.

C'est dans un arrêt de la Cour de Bordeaux, du 1er février 1839 (2), qu'elle se manifeste pour la première fois. — Quand l'immeuble dotal est indûment saisi du chef de la femme, la saisie est nulle, et c'est le devoir commun des époux de protester contre elle, dans le délai que la loi leur impartit. — L'arrêt de la Cour de Bordeaux passe inaperçu, et c'est huit ans après seulement, que se dessine le mouvement de jurisprudence prévu et préparé par elle. Successivement la Cour d'Amiens, le 6 mars 1847, (3) — la Cour de Caen, le 14 mai 1849, (4) et le 9 décembre 1850 (5), — enfin la Cour de Cassation, sur le

(1) Sirey. 1852, II, 619.
(2) Sirey, 1839, II 281.
(3) Sirey, 1850, II. 135.
(4) Sirey, ibid.
(5) Sirey. 1851, II, 54.

rapport de M. le Conseiller Nachet, le 30 avril 1850 (1), repoussent en termes précis le système de la distraction pour sanctionner celui de la nullité. La femme est désormais déchue de sa revendication contre l'adjudicataire: elle peut et doit agir pendant la saisie. La Cour de Riom fait de même le 19 Août 1851 (2) et le 14 Décembre 1852 (3): la Cour de Toulouse l'imite, le 14 août 1852 (4). — Aussi bien, quand la femme invoquera la nullité en temps utile, on fera droit à sa requête, le maintien de la dotalité ne concernant pas seulement son mari (5). On ira si loin dans cette voie, que, lorsque le mari aura disparu entièrement de la scène par l'effet de la séparation de biens, la demande en nullité s'imposera encore à la femme à l'exclusion de la demande en distraction (6).

Le système est complet désormais, et l'intervention de la femme, possible parce qu'elle est nécessaire. Je me borne à renvoyer aux arrêts ultérieurs qui ont maintenu et assuré le succès de la nouvelle doctrine (7).

(1) Sirey, 1850, I, 497.
(2) Sirey, 1852, II, 54.
(3) Dalloz, 1853, II, 197.
(4) Sirey, 1853, II, 153.
(5) Bordeaux, 29 juillet 1857, Sirey, 1858, II, 529.
(6) Limoges, 29 juin 1853, Sirey, 1853, II, 646, et Cass. (mêmes parties) 21 janvier 1856, Sirey, 1856, I. 329. — Montpellier, 14 mars 1859, et 29 décembre 1860, Sirey, 1861, II. 392, et Cass. (mêmes parties) 13 janvier 1862, Sirey 1862, I, 679. — Agen, 8 février 1861, Sirey, 1861, II, 227.
(7) Riom, 7 juin 1859, Sirey, 1861, II. 129, et Cass. (mêmes parties) 20 août 1861, Sirey, 1862, I. 17 (note de M. Dutruc). — Agen, 27 novembre 1861, Sirey, 1862, II. 176. — Grenoble, 11 août 1862, Sirey, 1863, II. 12. — Montpellier, 8 mars 1869, *Revue du Notariat*, 1869, p. 664. — Cass. 9 mars 1870. — *Revue du Notariat*, 1870, pag. 768. — Cass. 16 mai 1870, Sirey, 1871, I. 78. — J'ai réservé pour la fin l'arrêt intermédiaire de la Cour de Cassation, du 21 janvier 1867 (Sirey, 1867, I. 400.) — Il y est question d'une demande en distraction formée par la femme, ce qui paraît à première vue, constituer, au moins dans les mots, une trace de l'ancienne doctrine, que tant d'arrêts opposés avaient détruite à cette époque. Les faits ne permettent pas qu'on s'arrête à cette interprétation. Dans l'espèce, il s'agissait d'un créancier du mari qui avait saisi sur lui un immeuble indivis entre lui et la femme. Le moyen de procédure approprié à la garantie des intérêts de la femme était alors, sans aucun doute, la demande en distraction : c'était donc au mari,

Voilà une évolution de jurisprudence qui s'est accomplie en treize ans : le premier monument de la nouvelle doctrine remonte en effet à l'année 1839, et c'est en 1852 que se manifeste l'ancienne pour la dernière fois. Celle-ci a survécu à l'ancienne rédaction des art. 727 et suiv. du Code de Procédure : celle là, de même, a précédé la revision de 1841 et la rédaction des nouveaux articles 725 et suiv. — Ce n'est donc pas, comme on l'a soutenu quelquefois (1), la réforme de 1841 qui est cause que la nouvelle doctrine a vaincu et remplacé l'autre. Le nouveau texte ne lui fournit pas de meilleures attaches que l'ancien ; et celui-ci n'appuyait guère mieux sa rivale que ne l'appuie le nouveau. C'est ailleurs qu'il faut chercher la raison du succès qu'elle a eu.

On la devine sans peine. Le système de la demande en distraction s'accordait à merveille avec la conception de l'inaliénabilité dotale (2), et je crois bien que c'est pour cela qu'il s'est imposé si longtemps. L'impuissance de la femme à critiquer la saisie, lorsqu'elle se produisait avant la dissolution du mariage ou la séparation de biens, en était la conséquence nécessaire : une demande en distraction n'est qu'une revendication incidente à la saisie, et le mari a seul qualité à une telle époque pour agir *dotis causâ* : comme il est impossible que son apathie ou sa mauvaise foi puisse assurer l'effet de la saisie, et ruiner le système de l'inaliénabilité, il était forcé que la femme retrouvât, à la dissolution du mariage ou à la séparation des biens, la revendication qu'il avait né-

et non à la femme, à former la demande. Jusqu'ici, l'arrêt de 1867 est entièrement étranger à la difficulté sur laquelle je raisonne au texte. Mais un nouveau créancier des deux époux ayant antérieurement saisi sur eux le même bien, la jonction des deux saisies fut prononcée, et la femme qui eût pu, seule, invoquer la dotalité contre ce dernier saisissant, ne le fit pas. La saisie devint définitive par le silence qu'elle garda, et qu'elle aurait pu ne pas garder.

(1) Voy. par exemple Grenoble (précité) 11 août 1862, Sirey, 1863, II. 12.

(2) L'inaliénabilité dotale n'est point une incapacité, au moins à mon avis.

gligé d'exercer. La concession de cette action à la femme, à cette époque, était le prix dont il fallait payer la forme qu'on donnait à la protestation des époux contre la saisie. Le système était cohérent et bien lié.

Il était malheureusement inique, et ruineux pour les tiers, dont l'intérêt méconnu en a provoqué la chûte. La seule et vraie cause de l'évolution de jurisprudence que j'ai retracée, a été l'intérêt des tiers. Il fallait assurer à tout prix l'effet de l'adjudication et la sécurité du nouveau propriétaire de l'immeuble. Il fallait pour cela enlever à la femme la revendication postérieure à l'adjudication, que la doctrine ancienne lui conférait. On ne pouvait le faire, qu'en l'appelant concurremment avec son mari à critiquer la saisie, dès avant que les pouvoirs de celui-ci eussent pris fin. Et pour lui permettre cette ingérence dans l'administration dotale, on devait modifier avant tout la forme de l'opposition à la saisie, substituer à la conception d'une revendication incidente et contraire à la saisie, — conception mieux appropriée au système de l'inaliénabilité qu'aux besoins des affaires, — la conception, juridiquement imparfaite, mais pratiquement supérieure, d'une pure défense à la saisie.

En un mot, et pour conclure, on a respecté ici encore, malgré les apparences, le principe qui ne permet pas que la femme puisse agir, quand le mari n'agit pas. On n'aurait entamé ce principe, que si on avait maintenu le système de la demande en distraction, et qu'on eût autorisé la femme à former une pareille demande concurremment avec son mari, pour l'empêcher de revendiquer ultérieurement son immeuble. — Le système actuel ne saurait encourir ce reproche : il a pour fondement cette idée, qu'on peut défendre la dot et l'inaliénabilité sans *agir*, je veux dire, sans intenter une action proprement dite. La femme peut dès lors participer à la saisie : elle n'agit pas, elle ne se mêle pas à l'administration dotale.

Il y a là tout autre chose qu'une question de mots, et je vais montrer, par un simple détail, que la différence est considérable entre le rôle purement défensif qu'elle joue dans le système de la nullité, et le rôle offensif qu'elle aurait joué dans celui de la distraction.

Je suppose, avec un arrêt de la Cour d'Aix, du 17 mars 1857 (1), qu'elle a constitué successivement sur l'immeuble dotal plusieurs hypothèques. L'un des créanciers hypothécaires saisit l'immeuble. Une demande en nullité de saisie est formée par les époux, et réussit : le jugement n'aura aucun effet au regard des autres créanciers, dont les hypothèques ne céderont qu'à de nouveaux jugements, pareillement rendus sur de nouvelles demandes en nullité, provoquées par de nouvelles saisies. — Il en serait autrement, et la chose jugée sur l'opposition à la première saisie atteindrait tous les créanciers hypothécaires, si cette opposition avait revêtu la forme d'une demande en distraction : lors en effet qu'une procédure de ce genre se greffe sur la saisie, le saisissant est réputé, sous les conditions qu'indique l'art. 725 (2), y représenter tous les créanciers qui ont reçu hypothèque sur l'immeuble. — Un jugement provoqué par une simple défense à la saisie n'a pas des effets si étendus : il protège l'inaliénabilité contre l'attaque immédiate qui la menace. L'arme qu'on donne à la femme est proportionnée au danger présent ; elle ne lui permet pas d'engager assez fortement la lutte pour prévenir les dangers éventuels que son immeuble court, et pour y parer. Conséquence visible de cette idée qu'elle peut bien se défendre, mais qu'elle ne saurait se protéger, au

(1) Dalloz, 1858, II, 15.

(2) L'art. 725 Cod. Proc. Civ., dispose en effet que la demande en distraction doit se former non seulement contre le saisissant, mais aussi « contre le premier créancier inscrit, au domicile élu dans l'inscription. » Car on veut que le jugement rendu sur une pareille demande, le soit *in rem*, à l'égard de tous les créanciers du saisi. Le premier créancier inscrit peut et doit les représenter à l'instance et c'est pour cela qu'on exige qu'il soit mis en cause. Il n'y a rien de pareil pour la demande en nullité.

sens étymologique du mot. Protéger, c'est prévoir l'avenir éloigné ou prochain ; c'est administrer, et le mari aurait seul qualité pour le faire.

J'ai supposé jusqu'à présent que le créancier de la femme a saisi l'immeuble dotal, comme il doit le faire, sur les deux époux à la fois. — Je veux supposer maintenant qu'il n'a mis en cause que l'un d'eux, le mari, ou la femme.

Et d'abord, le mari. — La saisie est affectée, en pareil cas, d'un vice double. En effet, le créancier de la femme saisit sur le mari seul un immeuble de sa débitrice : première irrégularité. Il saisit un immeuble qui n'est point affecté au paiement de la dette : seconde irrégularité. C'est au mari, sans aucun doute, qu'il appartient de lui reprocher la première, dans le délai qu'impartit au saisi pour une demande quelconque en nullité de saisie, l'art. 728 C. Proc. Civ. ; je dirai tout à l'heure que, s'il ne le fait pas, la femme, à mon avis, peut le faire, comme personne intéressée à la saisie, aux termes du nouvel art. 715 Cod. Proc. Civ. (réformé en 1841). — Mais j'ai hâte d'arriver à la seconde question, qui est celle-ci : la femme peut-elle au moins critiquer, au second point de vue que j'ai indiqué, la saisie qui se poursuit en dehors d'elle? MM. Aubry et Rau (1) invoquent, pour lui refuser un pareil droit et pour lui permettre en conséquence de revendiquer ultérieurement son immeuble sur l'adjudicataire, un arrêt de la Cour de Bordeaux, du 29 juillet 1857 (2). J'ai le regret de constater que cet arrêt ne touche pas à la question. Sans doute, il permet à la femme de revendiquer sur l'adjudicataire, après la séparation de biens, son immeuble dotal, saisi avant cette époque sur son mari seul. Il est fâcheux que les savants jurisconsultes n'aient pas vu que la saisie avait eu pour auteurs les créanciers du mari, et non pas les créanciers de

(1) Aubry et Rau, V, 555, § 536 (texte et note 6.)
(2) Sirey, 1858, II, 65.

la femme : la saisie par conséquent n'aurait pu céder et s'évanouir que devant une demande en distraction, que le mari seul avait qualité pour former ; que la femme n'avait donc été libre de ne pas agir, que parce qu'elle ne peut jamais agir qu'en nullité, et que ce n'était pas le cas d'une demande en nullité, mais seulement d'une demande en distraction.

Aussi, l'arrêt de la Cour de Bordeaux ne tranche pas la question, pour la bonne raison qu'il n'y touche pas. Je n'ai personnellement rencontré dans les sources aucune preuve que le système de MM. Aubry et Rau soit en jurisprudence faux ou vrai. — J'inclinerais, pour ma part, à penser que la femme, ici encore, peut et doit invoquer elle-même la nullité de la saisie, pour les mêmes raisons et sous la même sanction qui font qu'elle y est obligée, quand la saisie est régulière en la forme. — Il est sûr en effet, que depuis la réforme de 1841, le droit de former une demande en nullité de saisie, appartient à toute personne intéressée dans la saisie, alors même qu'elle n'y serait point partie, au sens juridique du mot, (1) et je ne crois pas qu'on puisse contester à la femme, quand l'immeuble dotal est saisi par ses créanciers, sur son mari, la qualité de personne intéressée dans la saisie.

L'argument ne serait peut-être pas décisif en pratique, mais j'imagine qu'il y a une Cour d'Appel qui serait indulgente pour lui. C'est la Cour de Grenoble, dont l'arrêt du 11 août 1852 rattache précisément à la réforme de 1841 l'extension du système de la nullité de la saisie aux rapports de la femme dotale et de ses créanciers. — Si j'ai combattu plus haut cette idée, qui me paraît historiquement fausse, je puis relever ce qu'elle a de juridiquement exact, et en faire mon profit pour fixer les conséquences de la double irrégularité de la saisie opérée par les créanciers de la femme, — lorsqu'elle porte

(1) Voy. Dalloz, *Répertoire*, v° Vente publique d'immeuble, n° 1276. — (Sur l'art. 715, Cod. Proc. Civ.).

sur l'immeuble dotal, — et qu'elle est dirigée contre le mari seul.

J'ajoute, en terminant, que les mêmes raisonnements et les mêmes solutions s'appliqueraient, à mon avis, à l'hypothèse où la saisie de l'immeuble dotal serait dirigée contre la femme seule.

J'ai achevé l'examen de la première difficulté générale que je m'étais proposé de résoudre sur le fonctionnement du régime dotal. Je résume en quelques mots les conclusions de ce travail sur l'exercice des actions dotales.

1° Le mari nous apparaît toujours comme un administrateur.

2° Mais ses droits sont aussi étendus que possible en cette qualité : tout acte contentieux relatif au patrimoine dotal est, en principe, de sa compétence et de son domaine : il agit en son nom, pour le compte de sa femme et pour lui.

3° Le contrepoids de ces pouvoirs si forts se trouve dans la responsabilité dont ils le chargent : cette responsabilité se mesure sur eux, elle grandit ou décroît avec eux.

4° Parfois seulement, elle promet d'être si lourde qu'on ne peut raisonnablement l'en accabler. On la supprime en tarissant la source d'où elle naît. Le principe est certain : les hésitations et les doutes n'apparaissent qu'à l'application.

TABLE DES MATIÈRES

Pages

PRÉFACE 1

Des Actions dirigées par le mari contre les tiers et par les tiers contre le mari à l'occasion de la dot 1

Chapitre I. — DE L'ACTION EN PAIEMENT DE LA CONSTITUTION DE DOT 3

I. Poursuite 3
II. Paiement 15
III. Responsabilité 20

Chapitre II. — DU RECOUVREMENT DES CRÉANCES DOTALES 42

I. Poursuite 44
II. Paiement 56
III. Responsabilité 63

Chapitre III. — DE LA REVENDICATION DES IMMEUBLES 72

I. Inaliénabilité pure et simple. Aliénation par la femme . . 75
II. Aliénabilité sous condition de remploi 77
III. Aliénation par le mari 82

Chapitre IV. — CARACTÈRES COMMUNS A TOUTES LES ACTIONS DU MARI. 88

I. Autorité de la chose jugée 89
II. Substitution de la femme au mari dans les poursuites . . 93
III. Procédure et dépens 97

Pages

Chapitre V. — Exceptions aux pouvoirs du mari. 99

I. Partage 99
II. Transaction 113
III. Compromis. 116
IV. Extension conventionnelle des pouvoirs du mari. . . . 121

Chapitre VI. — Des actions dirigées par les tiers contre le mari 126

I. Revendication de l'immeuble dotal par les tiers 129
II. Saisie de l'immeuble dotal par les créanciers de la femme. 130

TRAVAUX ET MÉMOIRES DES FACULTÉS DE LILLE

MÉMOIRES PARUS

TOME I

N° 1. — PAUL PAINLEVÉ : *Transformation des fonctions* V (x, y, z).
Prix. . . 1 fr. 75

N° 2. — PIERRE DUHEM : *Des Corps Diamagnétiques.*
Prix. . . 3 fr. 50

N° 3. — PAUL FABRE. *Le Polyptyque du chanoine Benoit* — ETUDE SUR UN MANUSCRIT DE LA BIBLIOTHÈQUE DE CAMBRAI — avec une reproduction en phototypie sur papier de Hollande. Prix. . . 3 fr. 50

N° 4. — A. & P. BUISINE : *La Cire des Abeilles* (Analyse et falsifications.
Prix. . . 4 fr.

N° 5. — PIERRE DUHEM : *Sur la continuité de l'état liquide et de l'état gazeux* (avec figures). Prix. . . 7 fr.

TOME II

N° 6. — C. EG. BERTRAND : *Remarques sur le Lépidodendron Hartcourtii de Witham* (avec planches). Prix. . . 10 fr

N° 7. — ETIENNE BARTIN : *Etudes sur le régime dotal.*
Prix. . . 3 fr.

EN COURS D'EXÉCUTION :

F. TOURNEUX : *Atlas d'embryologie des organes génitaux urinaires.*

BULLETIN DES FACULTÉS DE LILLE (1re ET 2e ANNÉES).

8

LANCE

EMOIRES

E LILLE

DANS LES SYSTÈMES QUI

AZ PARFAITS

PHILIPPE-LEBON

E

Faidherbe, 11 et 13.

LS, 55, quai des Gds-Augustins

parte, 82.

Général des Lois et des

et Forcel, éditeurs, 22, rue

— FRANCE —

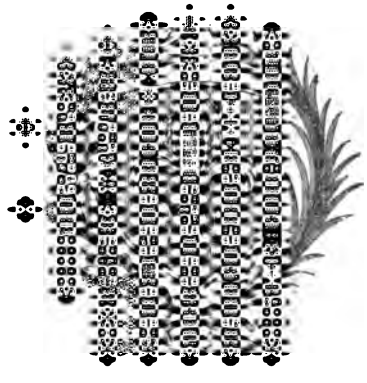
MÉMOIRES

DE LILLE

N° 8.

DANS LES SYSTÈMES QUI

GAZ PARFAITS



PHILIPPE-LEBON

422/2.70
LSoc1636.19

HARVARD COLLEGE
LIBRARY

The University

Le Conseil Général des Facultés de Lille a ordonné l'impression de ce mémoire, le 17 Février 1892.

L'impression a été achevée, chez GAUTHIER-VILLARS & FILS, *le 10 Juin 1892.*

[illegible]ATION

[illegible] RENFERMENT

[illegible] PARFAITS

[illegible]
[illegible]sique mathématique
[illegible] Sciences de Lille.

[illegible] CULTÉS DE LILLE
[illegible] N° 8.

[illegible] PHILIPPE-LEBON

SUR LA DISSOCIATION

DANS LES SYSTÈMES

QUI RENFERMENT UN MÉLANGE DE GAZ PARFAITS,

Par M. P. DUHEM,

Chargé d'un Cours complémentaire de Physique mathématique
et de Cristallographie à la Faculté des Sciences de Lille.

INTRODUCTION.

Deux directions bien distinctes peuvent être suivies dans l'étude de la dissociation.

On peut appliquer à cette étude les lois de la Thermodynamique sous leur forme la plus générale, en réduisant au minimum le nombre des hypothèses faites sur la nature des corps qui entrent en réaction. On obtient ainsi un certain nombre de théorèmes remarquables par leur rigueur et par leur ampleur. Mais la généralité même de cette méthode l'empêche de pénétrer très avant dans le détail des phénomènes.

On peut, au contraire, appliquer aux corps sur lesquels on raisonne certaines hypothèses qui ne sont qu'approximatives, mais qui ont l'avantage de mieux mettre en lumière les particularités de ces corps. On peut, par exemple, traiter les corps gazeux en leur appliquant les équations de l'état parfait; traiter les corps solides ou liquides comme ayant un volume spécifique négligeable par rapport au volume spécifique des corps gazeux. Les lois aux-

quelles on parvient ainsi sont seulement, il est vrai, des lois plus ou moins approchées. Mais, dans les limites où l'approximation qu'elles présentent est satisfaisante, elles pénètrent jusqu'au dernier détail des phénomènes.

Les recherches *sur la continuité entre l'état liquide et l'état gazeux et sur la théorie générale des vapeurs,* que nous avons récemment publiées dans les *Travaux et Mémoires des Facultés de Lille,* offraient un exemple de la première méthode. Le présent travail constitue, au contraire, un échantillon de la seconde méthode.

Les recherches exposées ici sont tout entières dominées par deux propositions qui constituent la *définition d'un mélange de gaz parfaits.* Ces deux propositions sont les suivantes :

1° *L'énergie interne d'un mélange de gaz parfaits est, à une température déterminée, la somme des énergies internes qu'auraient les gaz mélangés pris isolément à la même température.*

2° *L'entropie d'un mélange de gaz parfaits est la somme des entropies que posséderaient les gaz composant ce mélange, si chacun d'eux occupait seul, à la même température, le volume entier du mélange.*

La première proposition est admise depuis longtemps. Sans être énoncée explicitement dans le grand Mémoire de G. Kirchhoff sur la Thermodynamique (1), elle y est contenue implicitement, et M. Carl Neumann (2), exposant les idées de G. Kirchhoff, a eu grand soin de la mettre nettement en lumière. Cette première proposition renfermait déjà des conséquences d'une haute importance; en particulier, elle suffisait à montrer de quelle manière la chaleur de formation d'un corps gazeux aux dépens d'éléments gazeux dépend de la température.

Mais l'étude de la dissociation au sein des systèmes renfermant

---

(1) G. Kirchhoff, *Ueber einen Satz der mechanischen Wärmetheorie und einige Anwendungen desselben* (*Poggendorff's Annalen*, t. CIII, p. 193; 1858. — *G. Kirchhoff's Abhandlungen*, p. 464).

(2) Carl Neumann, *Vorlesungen über die mechanische Theorie der Wärme*. p. 166. Leipzig, 1875.

des mélanges de gaz parfaits ne pouvait être abordée d'une manière complète qu'à la suite de l'invention de la deuxième proposition.

On peut dire que cette deuxième proposition est due à M. Hortsmann (1). Sans doute ce n'est pas exactement cette proposition qu'énonce M. Hortsmann; il énonce une proposition semblable où l'entropie est remplacée par une autre fonction qui, dans les idées de Clausius, lui était intimement liée : *la disgrégation*. Mais, de l'énoncé de M. Hortsmann à celui que nous avons donné, il n'y a qu'un pas.

M. Hortsmann ne se contenta pas de donner la définition d'un mélange de gaz parfaits. Dans le Mémoire que nous avons cité et dans un Mémoire ultérieur (2), il appliqua cette définition à la recherche de l'équation qui règle l'équilibre dans la plupart des phénomènes de dissociation. Malheureusement ses recherches reposaient sur une manière exacte, mais délicate, d'appliquer les principes de la Thermodynamique.

C'est à l'illustre professeur américain J.-Willard Gibbs que l'on doit le premier exposé rigoureux des principes suivant lesquels la théorie des mélanges de gaz parfaits doit être introduite dans l'étude de la dissociation (3).

Tandis que M. Hortsmann avait traité successivement la plupart des types de dissociation, M. Gibbs traite presque exclusivement de la dissociation au sein des mélanges homogènes gazeux. C'est à peine si, dans une courte Note, il a montré comment pouvaient être traités les systèmes renfermant des corps solides ou liquides. Mais ce cas particulier de la dissociation a été traité à fond par M. Gibbs. L'étude des densités anormales de vapeur a fourni à ses formules un précieux contrôle expérimental (4).

---

(1) A. Hortsmann, *Theorie der Dissociation* (*Annalen der Chemie und Pharmacie*, t. CLXX, p. 192; 1873).

(2) A. Hortsmann, *Ueber ein Dissociations-Problem* (*Annalen der Chemie und Pharmacie*, t. CLXXXVIII, p. 48; 1877).

(3) J.-W. Gibbs, *On the equilibrium of heterogeneous substances* (*Transactions of Connecticut Academy*, t. III, p. 210-248; 1876).

(4) J.-W. Gibbs, *On the vapor-densities of peroxide of nitrogen, formic acid, acetic acid, and perchloride of phosphorus* (*American Journal of Science and Arts*, vol. XVIII, p. 277; 1879).

Les travaux de M. Gibbs laissaient peu d'idées vraiment nouvelles à trouver dans le domaine qui nous occupe; la méthode était indiquée, ses principes nettement assis, son exactitude et sa fécondité prouvées par des exemples. Il ne restait plus qu'à perfectionner des points de détail dans l'exposé des principes établis par M. Gibbs et à appliquer ces principes d'une manière complète aux divers problèmes que présente l'étude de la dissociation.

Le premier Mémoire écrit dans ce but est dû à M. Max Planck (1). Dans ce travail, M. Max Planck, qui ne connaissait encore le Mémoire de M. Gibbs que par de brefs comptes rendus, n'a pas appliqué les propriétés d'un mélange de gaz à l'étude de la dissociation.

Dans un Ouvrage consacré à la théorie du potentiel thermodynamique (2), nous avons donné un exposé complet de la théorie de la dissociation au sein des mélanges gazeux qu'avait proposée M. Gibbs. Nous avons montré comment cette théorie pouvait s'appliquer aux divers cas de dissociation que M. Hortsmann avait déjà examinés et fournir l'explication d'un certain nombre de faits d'expérience.

Mais plusieurs des résultats contenus dans cet exposé étaient faussés par des erreurs de détail et, notamment, par un énoncé inexact de la loi de Delaroche et Bérard.

Peu après la publication de ce travail, nous avons indiqué la méthode propre à traiter un problème nouveau : les variations de la capacité calorifique apparente d'une combinaison dissociable (3). Mais, là aussi, les mêmes erreurs de détail faussaient les résultats.

L'année suivante (4), M. Max Planck donnait un exposé de la théorie de la dissociation au sein des systèmes homogènes gazeux.

---

(1) MAX PLANCK, *Ueber das thermodynamische Gleichgewicht von Gasgemengen* (*Wiedemann's Annalen*, t. XIX, p. 368; 1883).

(2) P. DUHEM, *Le potentiel thermodynamique et ses applications à la mécanique chimique et à l'étude des phénomènes électriques*. Paris, 1886.

(3) P. DUHEM, *Sur la capacité calorifique des combinaisons gazeuses dissociables* (*Journal de Physique*, 2e série, t. V, p. 301; 1886).

(4) MAX PLANCK, *Ueber das Princip der Vermehrung der Entropie*. IIte Abhandlung : *Gesetze der Dissociation gasförmiger Verbindungen* (*Wiedemann's Annalen*, t. XXI, p. 189; 1887).

Dans cet exposé, il donnait de la loi de Delaroche et Bérard ce même énoncé erroné qui nous avait précédemment servi.

C'est encore à l'étude des seuls systèmes homogènes gazeux que M. Max Planck limite ses recherches dans un troisième Mémoire ([1]), où le savant auteur adopte un mode d'exposition peu différent de celui que nous avons donné dans notre Livre sur le potentiel thermodynamique.

M. Ostwald ([2]) a brièvement exposé la théorie de la dissociation au sein des systèmes qui renferment non seulement un mélange gazeux, mais encore un solide ou un liquide. Cet exposé est inspiré d'ailleurs, comme le savant professeur de Leipzig le reconnaît avec courtoisie, par celui que nous avions donné.

Il ne nous paraît pas que les divers travaux que nous venons de citer aient beaucoup ajouté à l'exposé que nous avions donné de cette théorie en 1886. Il nous semble cependant que l'on peut aujourd'hui faire plus et mieux que nous n'avons fait à cette époque, donner aux principes plus de netteté, discuter plus complètement les applications. Il nous semble aussi qu'un pareil exposé servirait dans une large mesure à faire mieux connaître et apprécier davantage l'œuvre de M. J.-Willard Gibbs.

C'est cet exposé complet que nous publions aujourd'hui, tel, ou à peu près, que nous l'avons enseigné à la Faculté des Sciences de Lille durant l'année scolaire 1888-89.

([1]) MAX PLANCK, *Ueber das Princip der Vermehrung der Entropie.* 3te Abhandlung : *Gesetze des Eintritts beliebiger thermodynamischer und chemischer Reactionen* (*Poggendorff's Annalen*, t. XXXII, p. 462 ; 1887).

([2]) W. OSTWALD, *Lehrbuch der allgemeinen Chemie,* t. II, p. 716. Leipzig ; 1887.

CHAPITRE I.

LES GAZ PARFAITS.

§ I. — Définition des gaz parfaits.

Avant d'aborder l'étude de la dissociation des systèmes qui renferment des gaz parfaits, nous allons, pour ne pas laisser dans l'ombre les principes sur lesquels nous nous appuierons, consacrer deux Chapitres à l'étude des *gaz parfaits* et des *mélanges de gaz parfaits*. Nous supposerons seulement que l'on connaisse les propositions fondamentales de la Thermodynamique.

Les expériences de Boyle, de Mariotte, d'Œrstedt, de Pouillet, de Dulong et Arago et de Regnault ont montré que, dans les conditions ordinaires de température et de pression, les gaz dont voici les noms :

L'hydrogène,
L'azote,
L'oxygène,
L'oxyde de carbone

obéissent à la loi suivante :

A une même température, pour une même masse de gaz, si l'on multiplie le volume occupé par cette masse de gaz par la pression qu'elle supporte, on obtient un nombre sensiblement constant.

Si donc on désigne par $\mathfrak{T}$ la température lue sur un thermomètre quelconque, par v le volume spécifique de l'un des gaz que nous venons de citer sous la pression p, à la température $\mathfrak{T}$, on a

$$pv = f(\mathfrak{T}) + \varepsilon(v, \mathfrak{T}); \tag{1}$$

$f(\mathfrak{T})$ et $\varepsilon(v, \mathfrak{T})$ sont deux fonctions qui diffèrent d'un gaz à l'autre; $\varepsilon(v, \mathfrak{T})$ n'a que de très petites valeurs pour les valeurs que prennent ordinairement les variables v et $\mathfrak{T}$. C'est l'énoncé de la *loi de Mariotte*.

Les expériences de Gay-Lussac, de Regnault, de Joule et de Sir W. Thomson, effectuées sur les mêmes gaz, ont mis en évi-

dence un autre résultat : *Si l'on fait varier le volume spécifique d'un semblable gaz, sans faire varier sa température et sans que les forces extérieures auxquelles il est soumis effectuent aucun travail, le gaz ne dégage qu'une quantité de chaleur très petite.*

Soit $U(v, \mathfrak{T})$ l'énergie interne de l'unité de masse du gaz prise sous le volume v, à la température $\mathfrak{T}$. Supposons que le volume spécifique varie de dv, $\mathfrak{T}$ demeurant constant, et les forces extérieures qui agissent sur la masse gazeuse n'effectuant aucun travail. Dans ces conditions, la masse de gaz m dégage une quantité de chaleur

$$\partial Q = -m \frac{\partial U(v, \mathfrak{T})}{\partial v} dv.$$

Les expériences que nous venons de mentionner montrent donc que $\frac{\partial U(v, \mathfrak{T})}{\partial v}$ est une quantité fort petite, ou, en d'autres termes, que l'on a

$$U(v, \mathfrak{T}) = g(\mathfrak{T}) + \eta(v, \mathfrak{T}); \tag{2}$$

$g(\mathfrak{T})$ et $\eta(v, \mathfrak{T})$ sont deux fonctions qui peuvent différer d'un gaz à l'autre; $\eta(v, \mathfrak{T})$ ne prend que des valeurs fort petites pour les valeurs qui prennent ordinairement les variables v et $\mathfrak{T}$.

On nomme *gaz voisins de l'état parfait* les gaz qui présentent les propriétés que nous venons d'indiquer. On dit encore que les deux égalités

$$pv = f(\mathfrak{T}), \tag{1 bis}$$

$$U = g(\mathfrak{T}) \tag{2 bis}$$

définissent les *gaz parfaits*.

Cette définition montre clairement que nous n'admettons pas le moins du monde l'existence objective d'un ou de plusieurs gaz parfaits. Les gaz parfaits ont, pour nous, une existence purement idéale; en d'autres termes, *les gaz parfaits n'existent pas, mais les propriétés des gaz parfaits existent :* elles sont l'ensemble des conséquences analytiques que l'on obtient en introduisant les conditions (1 *bis*) et (2 *bis*) dans les équations de la théorie mécanique de la chaleur.

Ces propriétés, tout en ayant un sens purement analytique, sont d'une grande utilité au point de vue de la Physique. Elles fournissent, en effet, une image approchée des propriétés réelles des gaz que nous avons nommés tout à l'heure. Elles fournissent d'ailleurs une image plus grossière, mais utile encore dans bien des cas, des propriétés des autres gaz.

Avant de nous limiter à l'étude des gaz parfaits, poursuivons, pendant quelque temps encore, l'étude des gaz voisins de l'état parfait.

§ II. — Conséquences de la loi de Mariotte.

Considérons un gaz voisin de l'état parfait; son équation de compressibilité est l'équation (1), qui peut s'écrire

$$p = \frac{f(\vartheta)}{v} + \frac{\varepsilon(v, \vartheta)}{v}.$$

Soit $\Psi(v, \vartheta)$ le potentiel thermodynamique interne de l'unité de masse de ce gaz. On sait que l'équation de compressibilité peut s'écrire

$$p = -\frac{\partial \Psi(v, \vartheta)}{\partial v}.$$

On a donc l'identité

$$\frac{\partial \Psi(v, \vartheta)}{\partial v} = -\frac{f(\vartheta)}{v} - \frac{\varepsilon(v, \vartheta)}{v}.$$

Considérons la fonction

$$\theta(v, \vartheta) = -f(\vartheta) \log v.$$

Nous aurons

$$\frac{\partial \theta(v, \vartheta)}{\partial v} - \frac{\partial \Psi(v, \vartheta)}{\partial v} = \frac{\varepsilon(v, \vartheta)}{v}.$$

Le second membre demeure toujours très petit pour les valeurs habituelles de v et de ϑ. On doit donc avoir

$$\Psi(v, \vartheta) = \theta(v, \vartheta) + \chi(\vartheta) + j(v, \vartheta);$$

$\chi(\vartheta)$ et $j(v, \vartheta)$ sont deux fonctions qui ont des déterminations différentes pour les divers gaz voisins de l'état parfait; $j(v, \vartheta)$ n'a que de très petites valeurs pour les valeurs ordinaires de v et de ϑ.

Si, dans l'égalité précédente, on remplace $\Theta(v, \mathfrak{T})$ par sa valeur, on arrive à la conséquence suivante :

Le potentiel thermodynamique interne d'un gaz qui suit sensiblement la loi de Mariotte a la forme

$$\Psi(v, \mathfrak{T}) = -f(\mathfrak{T}) \log v + \chi(\mathfrak{T}) + j(v, \mathfrak{T}). \tag{3}$$

Cette formule renferme toutes les propriétés qui découlent, pour un gaz, de l'hypothèse qu'il suit sensiblement la loi de Mariotte.

Nous allons, au moyen de cette formule, retrouver quelques conséquences connues de la loi de Mariotte.

Le coefficient de la dilatation du gaz sous la pression constante p, à la température $\mathfrak{T}$, est défini de la manière suivante :

Soient

$\mathfrak{T}_0$ la température de la glace fondante;
v_0 le volume spécifique du gaz sous la pression p, à la température $\mathfrak{T}_0$;
v le volume spécifique du gaz sous la pression constante p, à la température $\mathfrak{T}$.

On a

$$\alpha(v, \mathfrak{T}) = \frac{1}{v_0} \frac{dv}{d\mathfrak{T}}.$$

On démontre sans peine que ce coefficient est lié au potentiel thermodynamique interne par la relation

$$\alpha(v, \mathfrak{T}) = -\frac{1}{v_0} \frac{\dfrac{\partial^2 \Psi(v, \mathfrak{T})}{\partial v \, \partial \mathfrak{T}}}{\dfrac{\partial^2 \Psi(v, \mathfrak{T})}{\partial v^2}}. \tag{4}$$

Si l'on reporte dans cette égalité (4) les valeurs de $\frac{\partial^2 \Psi(v, \mathfrak{T})}{\partial v \, \partial \mathfrak{T}}$ et de $\frac{\partial^2 \Psi(v, \mathfrak{T})}{\partial v^2}$ que fournit l'égalité (3), on trouve

$$\alpha(v, \mathfrak{T}) = \frac{v}{v_0} \frac{f'(\mathfrak{T}) - v \dfrac{\partial^2 j(v, \mathfrak{T})}{\partial v \, \partial \mathfrak{T}}}{f(\mathfrak{T}) + v^2 \dfrac{\partial^2 j(v, \mathfrak{T})}{\partial v^2}}.$$

Mais on a

$$pv_0 = f(\mathfrak{T}_0) + \varepsilon(v_0, \mathfrak{T}_0),$$
$$pv = f(\mathfrak{T}) + \varepsilon(v, \mathfrak{T}).$$

On a donc

$$\frac{v}{v_0} = \frac{f(\mathfrak{T}) + \varepsilon(v, \mathfrak{T})}{f(\mathfrak{T}_0) + \varepsilon(v_0, \mathfrak{T}_0)}$$

et, par conséquent,

$$(5) \quad \left\{ \begin{aligned} \alpha(v, \mathfrak{T}) &= \frac{f(\mathfrak{T}) + \varepsilon(v, \mathfrak{T})}{f(\mathfrak{T}_0) + \varepsilon(v_0, \mathfrak{T}_0)} \frac{f'(\mathfrak{T}) - v\dfrac{\partial^2 j(v, \mathfrak{T})}{\partial v\, \partial \mathfrak{T}}}{f(\mathfrak{T}) + v^2 \dfrac{\partial^2 j(v, \mathfrak{T})}{\partial v^2}} \\ &= \frac{f'(\mathfrak{T})}{f(\mathfrak{T}_0)} + k(v, \mathfrak{T}, v_0, \mathfrak{T}_0), \end{aligned} \right.$$

la fonction k étant une fonction qui est toujours très petite pour un gaz voisin de l'état parfait.

Ainsi, *pour un gaz voisin de l'état parfait, le coefficient de dilatation sous pression constante varie très peu avec le volume spécifique initial ou, ce qui revient au même, avec la pression à laquelle il se rapporte.*

Le coefficient de dilatation sous volume spécifique constant v, à la température $\mathfrak{T}$, est défini de la manière suivante :

Soient

p_0 la pression qui, à la température $\mathfrak{T}_0$, maintient le gaz sous le volume spécifique v;

p la pression qui, à la température $\mathfrak{T}$, maintient le gaz sous le volume spécifique constant v.

On a

$$\beta(v, \mathfrak{T}) = \frac{1}{p_0} \frac{dp}{d\mathfrak{T}}.$$

On démontre sans peine que l'on a, entre ce coefficient et le potentiel thermodynamique interne, la relation

$$(6) \qquad \beta(v, \mathfrak{T}) = \frac{\dfrac{\partial^2 \Psi(v, \mathfrak{T})}{\partial v\, \partial \mathfrak{T}}}{\dfrac{\partial \Psi(v, \mathfrak{T}_0)}{\partial v}}.$$

Si l'on reporte dans cette égalité (6) les valeurs de $\dfrac{\partial \Psi(v, \mathfrak{T}_0)}{\partial v}$

et de $\frac{\partial^2 \Psi(v, \mathfrak{T})}{\partial v \, \partial \mathfrak{T}}$ déduites de l'égalité (3), on trouve

$$(7) \qquad \beta(v, \mathfrak{T}) = \frac{f'(\mathfrak{T}) - v \frac{\partial^2 j(v, \mathfrak{T})}{\partial v \, \partial \mathfrak{T}}}{f(\mathfrak{T}_0) - v \frac{\partial j(v, \mathfrak{T}_0)}{\partial v}} = \frac{f'(\mathfrak{T})}{f(\mathfrak{T}_0)} + k'(v, \mathfrak{T}, \mathfrak{T}_0),$$

k' étant une fonction qui, pour les gaz voisins de l'état parfait, est toujours très-petite. Cette égalité (7) nous enseigne que, *pour un gaz voisin de l'état parfait, le coefficient de dilatation sous volume spécifique constant est sensiblement indépendant du volume spécifique auquel il se rapporte.*

La comparaison des égalités (5) et (7) nous enseigne que : *à une même température et pour un même gaz voisin de l'état parfait, les deux coefficients de dilatation sous pression constante et sous volume constant diffèrent très peu d'une même valeur* $\frac{f'(\mathfrak{T})}{f(\mathfrak{T}_0)}$.

Toutes ces propositions, on le sait, se déduisent très simplement de l'énoncé même de la loi de Mariotte, sans intervention de la Thermodynamique; aussi la démonstration que nous venons de donner a-t-elle simplement pour but de servir d'exemple à une méthode générale. Toutes les fois que l'on se posera la question suivante : telle propriété d'un gaz résulte-t-elle de ce fait que le gaz suit sensiblement la loi de Mariotte, il suffira, pour répondre à cette question, de chercher si la propriété en question est une conséquence de la forme (3) du potentiel thermodynamique interne.

§ III. — Emploi des gaz parfaits dans la détermination des températures absolues.

Nous venons de déterminer la forme que l'égalité (1) donne forcément au potentiel thermodynamique interne du gaz. Nous allons examiner maintenant quelle particularisation est apportée à cette forme par l'égalité (2).

L'énergie interne est liée au potentiel thermodynamique interne par l'égalité

$$U(v, \mathfrak{T}) = \frac{1}{E}\left[\Psi(v, \mathfrak{T}) - \frac{F(\mathfrak{T})}{F'(\mathfrak{T})} \frac{\partial \Psi(v, \mathfrak{T})}{\partial \mathfrak{T}}\right],$$

$F(\mathfrak{T})$ étant la température absolue.

D'après l'expression (3) de $\Psi(v, \mathfrak{T})$, cette égalité devient

$$\begin{aligned} U(v, \mathfrak{T}) = &- \frac{1}{E}\left[f(\mathfrak{T}) - \frac{F(\mathfrak{T})}{F'(\mathfrak{T})}\frac{df(\mathfrak{T})}{d\mathfrak{T}}\right]\log v \\ &+ \frac{1}{E}\left[\chi(\mathfrak{T}) - \frac{F(\mathfrak{T})}{F'(\mathfrak{T})}\frac{d\chi(\mathfrak{T})}{d\mathfrak{T}}\right] \\ &+ \frac{1}{E}\left[j(v, \mathfrak{T}) - \frac{F(\mathfrak{T})}{F'(\mathfrak{T})}\frac{\partial j(v, \mathfrak{T})}{\partial \mathfrak{T}}\right]. \end{aligned}$$

Cette égalité ne peut être compatible d'une manière générale avec l'égalité (2) que si l'on a

$$f(\mathfrak{T}) - \frac{F(\mathfrak{T})}{F'(\mathfrak{T})}\frac{df(\mathfrak{T})}{d\mathfrak{T}} = J(\mathfrak{T}),$$

$J(\mathfrak{T})$ étant une fonction qui peut différer pour les divers gaz voisins de l'état parfait, mais qui n'a, pour chacun de ces gaz, et pour les valeurs ordinaires de $\mathfrak{T}$, que de très petites valeurs.

Cette nouvelle égalité peut encore s'écrire

$$f(\mathfrak{T}) = \mathfrak{R}\, F(\mathfrak{T}) + G(\mathfrak{T}); \tag{8}$$

$\mathfrak{R}$ est une constante qui a des valeurs différentes pour les divers gaz voisins de l'état parfait; $G(\mathfrak{T})$ est une fonction très petite pour chacun de ces gaz.

Cette égalité (8) conduit à d'importantes conséquences.

Comparée à l'égalité (1), elle nous montre que, *pour un gaz donné voisin de l'état parfait, le produit pv prend, à chaque température, une valeur sensiblement proportionnelle à la température absolue correspondante.*

On énonce cette proposition de la manière suivante : *Pour un gaz parfait, on a constamment*

$$pv = \mathfrak{R}\, F(\mathfrak{T}),$$

$\mathfrak{R}$ étant une constante particulière à chaque gaz parfait.

L'égalité (8) donne

$$\frac{f(\mathfrak{T})}{f(\mathfrak{T}_0)} = \frac{F'(\mathfrak{T}) + \frac{1}{\mathfrak{R}}G'(\mathfrak{T})}{F(\mathfrak{T}_0) + \frac{1}{\mathfrak{R}}G(\mathfrak{T}_0)}.$$

Ainsi, à une même température ϑ, la quantité $\frac{f'(\vartheta)}{f(\vartheta_0)}$ a sensiblement la même valeur pour tous les gaz voisins de l'état parfait. Si l'on rapproche cette proposition des propositions obtenues au paragraphe précédent, on arrive à la conclusion suivante :

A une même température, tous les coefficients de dilatation, tant sous pression constante que sous volume constant, de tous les gaz voisins de l'état parfait sont voisins d'une commune valeur.

Supposons que ϑ soit la température centigrade lue sur un thermomètre fait avec un gaz voisin de l'état parfait et maintenu sous le volume spécifique constant v. Soient p_0, p_1, p les valeurs de la pression exercée sur ce gaz dans la glace fondante, dans l'eau en ébullition sous la pression normale, enfin dans une certaine enceinte. Par définition, la température ϑ de cette enceinte est donnée par l'égalité

$$\vartheta = 100\,\frac{p - p_0}{p_1 - p_0}.$$

En vertu des égalités (1) et (8), cette égalité devient

$$\vartheta = 100\,\frac{F(\vartheta) - F(0)}{F(100) - F(0)} + \lambda(v, \vartheta),$$

$\lambda(v, \vartheta)$ étant une fonction qui n'a que de très petites valeurs, ou bien encore

$$(9) \qquad F(\vartheta) = F(0) + \frac{F(100) - F(0)}{100}\,\vartheta + \lambda'(v, \vartheta).$$

Les variations de la température absolue $F(\vartheta)$ *sont sensiblement proportionnelles aux variations de la température centigrade* ϑ *lue sur le thermomètre en question.*

Les valeurs de $F(0)$, $F(100)$, $F(\vartheta)$ sont absolument indépendantes du thermomètre qui sert à déterminer la température ϑ. Elles demeurent les mêmes si l'on remplace ce thermomètre par un autre. L'égalité (9) nous marque donc encore le résultat que voici :

Tous les thermomètres sous volume spécifique constant, construits avec des gaz voisins de l'état parfait, marchent sensi-

blement d'accord entre eux, quel que soit le gaz qu'ils renferment et quel que soit le volume spécifique de ce gaz dans le thermomètre.

Soit, de même, $\mathfrak{T}'$ la température lue sur un thermomètre à pression constante fait avec un gaz voisin de l'état parfait. Un calcul analogue donnera

$$F(\mathfrak{T}') = F(0) + \frac{F(100) - F(0)}{100}\mathfrak{T}' + \lambda''(v, \mathfrak{T}'), \tag{10}$$

$\lambda''(v, \mathfrak{T}')$ étant une quantité toujours très petite.

Les variations de la température absolue $F(\mathfrak{T}')$ *seront sensiblement proportionnelles aux variations de la température centigrade lue sur le thermomètre en question.*

Tous les thermomètres sous pression constante, construits avec des gaz voisins de l'état parfait, sont sensiblement d'accord entre eux; ils marchent sensiblement d'accord avec les thermomètres à volume spécifique constant renfermant les mêmes gaz.

Nous savons que la température absolue n'est définie qu'à un facteur constant près, facteur dont le choix demeure arbitraire. Nous pouvons choisir ce facteur de manière que

$$F(100) - F(0) = 100. \tag{11}$$

Les variations de la température absolue seront, moyennant ce choix, sensiblement égales aux variations de la température centigrade lue sur les thermomètres dont nous venons de parler.

Ce choix étant fait, $F(0)$ a une valeur parfaitement déterminée dont nous allons trouver une définition très simple.

De l'une quelconque des égalités (9) ou (10), nous déduisons que $\frac{F'(\mathfrak{T})}{F(0)}$ diffère très peu de $\frac{F(100) - F(0)}{100\,F(0)}$; ou bien, si nous adoptons la convention représentée par l'égalité (11), de $\frac{1}{F(0)}$.

Ainsi : *Si la température est lue sur un thermomètre fait avec un gaz voisin de l'état parfait, la valeur commune qu'ont, à une même température, tous les coefficients de dilatation des*

gaz voisins de l'état parfait est sensiblement indépendante de la température.

Si l'on adopte la convention représentée par l'égalité (11), *cette valeur est sensiblement égale à l'inverse de la température absolue de la glace fondante.*

Ces propositions peuvent encore s'énoncer ainsi :

La température absolue est sensiblement proportionnelle à la somme de la température centigrade lue sur un thermomètre quelconque, fait avec un gaz voisin de l'état parfait et de l'inverse d'un coefficient de dilatation d'un gaz voisin de l'état parfait; elle est sensiblement égale à cette somme, si l'on convient de prendre pour température absolue de la glace fondante l'inverse de l'un des coefficients de dilatation d'un gaz voisin de l'état parfait.

Les expériences de Regnault ont montré que la valeur dont sont voisins les coefficients de dilatation de tous les gaz sensiblement parfaits est la valeur

$$\alpha = \frac{1}{273}.$$

On a donc sensiblement, d'après les conventions précédentes,

$$F(0) = 273, \qquad F(\mathfrak{T}) = 273 + \mathfrak{T}.$$

Dans les Chapitres qui suivront, la température absolue sera supposée lue suivant ces conventions.

La constante $\mathfrak{R}$ qui figure dans l'égalité (8) varie d'un gaz à l'autre; cette variation obéit à une loi très simple.

Considérons deux gaz voisins de l'état parfait. Sous la pression normale P, à la température $\mathfrak{T}_0$ de la glace fondante, ces deux gaz ont des volumes spécifiques σ, σ'. D'après l'égalité (8), on a

$$P\sigma = \mathfrak{R}\, F(\mathfrak{T}_0) + G(\mathfrak{T}_0),$$
$$P\sigma' = \mathfrak{R}'\, F(\mathfrak{T}_0) + G'(\mathfrak{T}_0).$$

On déduit de ces deux égalités

$$\frac{\mathfrak{R}'}{\mathfrak{R}} = \frac{\sigma'}{\sigma} + \gamma(\mathfrak{T}_0),$$

$\gamma(\mathfrak{T}_0)$ étant une quantité très petite. Ainsi, *pour les divers gaz*

voisins de l'état parfait, la constante $\mathfrak{R}$ a une valeur qui est sensiblement proportionnelle au volume spécifique qu'offre, dans les conditions normales de température et de pression, le gaz auquel elle se rapporte.

Cette proposition peut encore s'énoncer en disant que, pour les divers gaz voisins de l'état parfait, on a sensiblement

$$\mathfrak{R} = R\sigma, \tag{12}$$

R étant une constante qui a la même valeur pour tous ces gaz.

Si l'on se reporte à l'égalité (3), on voit que, *pour les divers gaz voisins de l'état parfait, le potentiel thermodynamique interne de l'unité de masse de gaz a sensiblement la forme*

$$\Psi(v, \mathfrak{T}) = -R\sigma F(\mathfrak{T}) \log v + \chi(\mathfrak{T}).$$

Cette formule renferme toutes les conséquences de la définition des gaz parfaits.

Pour avoir l'expression du potentiel thermodynamique sous la pression constante p de l'unité de masse du gaz, il faut, dans l'expression

$$\Psi(v, \mathfrak{T}) + pv,$$

remplacer v par sa valeur en fonction de p et de $\mathfrak{T}$ déduite de l'équation de compressibilité du gaz. Comme cette dernière se réduit sensiblement à

$$pv = R\sigma F(\mathfrak{T}),$$

on voit que *le potentiel thermodynamique, sous la pression constante p, de l'unité de masse d'un gaz voisin de l'état parfait, a sensiblement pour valeur*

$$\Psi'(p, T) = R\sigma F(\mathfrak{T})(1 + \log p) + \chi(\mathfrak{T}) - R\sigma F(\mathfrak{T}) \log R\sigma F(\mathfrak{T}). \tag{14}$$

Cette égalité (14) peut être, au même titre que l'égalité (13), regardée comme renfermant toutes les conséquences de la définition des gaz parfaits.

Si l'on prend pour température la température absolue, que nous désignerons par T, on a

$$\mathfrak{T} = T, \qquad F(\mathfrak{T}) = T,$$

et les égalités (13) et (14) prennent la forme

$$(13\,bis)\quad \Psi(v, T) = -R\sigma T \log v + \chi(T),$$

$$(14\,bis)\quad \Psi'(p, T) = R\sigma T(1 + \log p) + \chi(T) - R\sigma T \log R\sigma T.$$

§ IV. — Chaleurs spécifiques des gaz; loi de Clausius.

Nous avons vu, au commencement du paragraphe précédent, que l'énergie interne de l'unité de masse d'un gaz voisin de l'état parfait avait sensiblement la forme suivante

$$U(v, \vartheta) = -\frac{1}{E}\left[f(\vartheta) - \frac{F(\vartheta)}{F'(\vartheta)}\frac{df(\vartheta)}{d\vartheta}\right]\log v + \frac{1}{E}\left[\chi(\vartheta) - \frac{F(\vartheta)}{F'(\vartheta)}\frac{d\chi(\vartheta)}{d\vartheta}\right].$$

Nous avons vu aussi que l'on avait sensiblement

$$f(\vartheta) = \mathcal{R}\,F(\vartheta),$$

ce qui, au second membre de l'égalité précédente, fait disparaître le premier terme. Il reste donc simplement

$$(15)\qquad U(v, \vartheta) = \frac{1}{E}\left[\chi(\vartheta) - \frac{F(\vartheta)}{F'(\vartheta)}\frac{d\chi(\vartheta)}{d\vartheta}\right].$$

La chaleur spécifique, sous volume constant, d'un corps quelconque est donnée par l'égalité

$$\gamma(v, \vartheta) = \frac{\partial U(v, \vartheta)}{\partial \vartheta}.$$

L'égalité (15) montre donc que *la chaleur spécifique, sous volume constant, d'un gaz voisin de l'état parfait est sensiblement donnée par la formule*

$$(16)\qquad \gamma(v, \vartheta) = \frac{dG(\vartheta)}{d\vartheta},$$

en posant, pour abréger,

$$(17)\qquad G(\vartheta) = \frac{1}{E}\left[\chi(\vartheta) - \frac{F(\vartheta)}{F'(\vartheta)}\frac{d\chi(\vartheta)}{d\vartheta}\right].$$

La chaleur spécifique, sous la pression constante p d'un corps

quelconque, est liée à l'énergie interne de l'unité de masse de ce corps par la formule

$$C(p, \vartheta) = \frac{\partial U(v, \vartheta)}{\partial \vartheta} + \frac{\partial U(v, \vartheta)}{\partial v}\left(\frac{\partial v}{\partial \vartheta}\right)_p + \frac{1}{E} p \left(\frac{\partial v}{\partial \vartheta}\right)_p.$$

L'égalité (15), jointe à l'égalité

$$pv = R\sigma F(\vartheta),$$

qui donne

$$\left(\frac{\partial v}{\partial \vartheta}\right)_p = \frac{R\sigma}{p} F'(\vartheta),$$

montre que, *pour un gaz voisin de l'état parfait, la chaleur spécifique sous pression constante est sensiblement donnée par la formule*

$$(18) \qquad C(p, \vartheta) = \frac{dG(\vartheta)}{d\vartheta} + \frac{R\sigma}{E} F'(\vartheta).$$

Ces égalités (16) et (18) conduisent à des conséquences très importantes.

En premier lieu, on voit que, *pour les gaz voisins de l'état parfait, les deux chaleurs spécifiques, sous pression constante et sous volume constant, se réduisent à des fonctions de la seule température, lue sur un thermomètre quelconque.*

A une même température, on a sensiblement

$$(19) \qquad C - \gamma = \frac{R\sigma}{E} F'(\vartheta).$$

Cette dernière relation prend une forme particulièrement remarquable, si l'on prend pour température la température absolue T. On a alors

$$\vartheta = T, \qquad F(\vartheta) = T,$$

et l'égalité précédente devient

$$(19\ bis) \qquad C - \gamma = \frac{R\sigma}{E}.$$

Si l'on prend pour température la température absolue, la différence des deux chaleurs spécifiques d'un gaz voisin de l'état parfait se réduit sensiblement à une constante particulière à chaque gaz; celle-ci est le produit du volume spéci-

fique du gaz dans les conditions normales de température et de pression par une constante qui a la même valeur pour tous les gaz.

L'égalité (19 *bis*) peut s'écrire

$$C\left(1-\frac{1}{\frac{C}{\gamma}}\right)=\frac{R\sigma}{E}.$$

Les quantités C, $\frac{C}{\gamma}$, R, σ peuvent être déterminées expérimentalement; cette relation fournit donc un moyen de déterminer la valeur E de l'équivalent mécanique de la chaleur. C'est la méthode qu'avait employée R. Mayer.

Tout ce que nous venons de dire sur les deux chaleurs spécifiques des gaz voisins de l'état parfait résulte exclusivement des deux lois qui constituent la définition des gaz voisins de l'état parfait.

Nous allons maintenant restreindre la généralité du sens qu'il convenait d'attribuer à ce mot : *gaz voisin de l'état parfait,* en adjoignant une troisième loi aux deux lois qui, jusqu'ici, ont défini ce sens.

Nous avons vu que la chaleur spécifique, sous pression constante, d'un gaz voisin de l'état parfait, est sensiblement une fonction de la température seule. Clausius a proposé d'ajouter à la définition déjà donnée des gaz voisins de l'état parfait la condition suivante :

Si l'on prend pour température la température absolue, la chaleur spécifique sous pression constante d'un gaz voisin de l'état parfait a une valeur sensiblement indépendante de la température.

Comme nous l'avons dit, en joignant cette loi aux deux lois énoncées au début du § I, nous substituons à l'ancien sens du mot *gaz voisin de l'état parfait* un sens plus restreint. Tout ce qui était vrai du premier sens de ce mot demeure vrai *a fortiori* du second sens. Mais, tandis que le premier sens, plus large, convient aux gaz tels que l'hydrogène, l'azote, l'oxygène, l'oxyde de carbone, du moins lorsque la température n'est pas trop basse et

lorsque la pression n'est pas trop forte, le second sens, plus étroit, convient-il à ces gaz?

Les expériences de Regnault montrent qu'il leur convient lorsque la température est comprise entre la température de la glace fondante et la température de + 200° C. On a cru, par des expériences récentes, montrer que ce sens ne convient plus à ces divers gaz lorsque la température est trop élevée. Mais nous verrons plus loin que ces expériences, convenablement interprétées, n'entraînent nullement une semblable conclusion. Aussi, dorénavant, nous n'hésiterons pas à restreindre le sens du mot : *gaz voisin de l'état parfait* en faisant entrer la loi de Clausius dans sa définition.

D'après l'égalité (19 *bis*), lorsqu'on prend pour température la température absolue, la différence des deux chaleurs spécifiques d'un gaz voisin de l'état parfait est sensiblement indépendante de la température.

Nous admettons maintenant que la chaleur spécifique sous pression constante d'un gaz voisin de l'état parfait est sensiblement indépendante de la température.

Il en résulte que *la chaleur spécifique sous volume constant d'un gaz voisin de l'état parfait est sensiblement indépendante de la température ;* et que *le rapport des deux chaleurs spécifiques d'un gaz voisin de l'état parfait est sensiblement indépendant de la température.*

Considérons les égalités (16) et (17). Faisons-y

$$\mathfrak{T} = T.$$

Nous aurons aussi

$$F(\mathfrak{T}) = T,$$

et ces égalités se réduiront à

$$\gamma = -\frac{T}{E}\frac{d^2\chi(T)}{dT^2}.$$

Si, conformément à la loi de Clausius, γ se réduit à une constante, cette égalité nous donnera

$$\chi(T) = -E\gamma T \log T + \alpha T + \beta,$$

α et β étant deux constantes.

Si l'on transporte cette valeur de $\chi(T)$ dans les égalités (13 *bis*) et (14 *bis*), on arrive au résultat suivant :

Le potentiel thermodynamique interne et le potentiel thermodynamique sous pression constante d'un gaz voisin de l'état parfait ont, lorsqu'on admet la loi de Clausius, sensiblement la forme suivante

$$(20) \qquad \Psi(v, T) = -R\sigma T \log v - E\gamma T \log T + \alpha T + \beta,$$

$$(21) \quad \Psi'(p, T) = R\sigma T(1 + \log p) - E\gamma T \log T - R\sigma T \log R\sigma T + \alpha T + \beta;$$

α et β sont deux constantes.

Chacune de ces deux formules implique toutes les conséquences de la définition des gaz parfaits restreinte par l'admission de la loi de Clausius. Ces formules sont celles dont nous ferons dorénavant usage.

§ V. — Lois relatives aux volumes des combinaisons gazeuses.

Jusqu'ici, nous avons étudié les gaz réels, voisins de l'état parfait, et nous avons démontré, pour ces gaz, une suite de propositions approchées qui, énoncées d'une manière rigoureuse, constitueraient les propriétés des gaz parfaits. Dorénavant, nous étudierons immédiatement les *gaz parfaits;* nous répétons encore une fois, pour qu'aucun doute ne subsiste dans l'esprit, que nous n'entendons par là attribuer aucune existence réelle aux gaz parfaits ; ils n'ont qu'une existence idéale, représentée par une définition analytique ; mais les propriétés de ces concepts ont l'avantage de fournir une image des propriétés des gaz réels, image très approchée pour les uns, moins approchée pour les autres, tout à fait insuffisante pour d'autres encore.

Dans ce paragraphe et dans le suivant, nous allons chercher à préciser les relations qui existent entre les deux constantes physiques (volume spécifique et chaleurs spécifiques) d'un gaz parfait d'une part, et, d'autre part, son *poids moléculaire*. Précisons d'abord le sens que nous attribuons à ce mot.

Les chimistes ont été amenés à attribuer, à chaque corps simple, un nombre abstrait que l'on nomme le *poids atomique* de ce corps simple. C'est ce nombre que représente la lettre, particulière à

chaque corps simple, que l'on fait figurer dans les formules chimiques : H pour l'hydrogène, C pour le carbone, etc. Il n'entre pas dans notre plan de détailler ni les considérations qui permettent de définir le poids atomique d'un corps simple, ni les procédés qui permettent de le déterminer. Ce sont des questions qui concernent la Chimie et que nous regardons ici comme acquises.

Pour un corps simple, nous nommerons *poids moléculaire* le double du poids atomique.

Un corps composé possède une *formule chimique.* Nous ne discuterons pas ici les considérations qui conduisent à la notion de formule chimique, considérations qui sont du ressort de la Chimie. Étant donnée la formule chimique d'un corps composé, prenons le poids atomique de chacun des corps simples qui y figurent ; multiplions ce nombre par l'exposant dont le symbole chimique de ce corps simple est affecté dans la formule; ajoutons ensemble tous les produits ainsi obtenus : nous aurons le poids moléculaire du corps composé.

Ainsi, la formule chimique de l'eau étant H^2O, le poids moléculaire de l'eau est la somme de deux fois le poids atomique de l'hydrogène et du poids atomique de l'oxygène.

Nous avons donné deux définitions distinctes du poids moléculaire : l'une convient aux corps simples, l'autre aux corps composés ; on peut faire rentrer la première dans la seconde si l'on convient d'attribuer à chaque corps simple une formule chimique représentée par son symbole affecté de l'exposant 2 ; si l'on convient, par exemple, de dire que la formule chimique de l'hydrogène est H^2, que celle du phosphore est Ph^2, que celle du mercure est Hg^2.

Bon nombre de chimistes donnent au mot *poids moléculaire* un sens qui n'est pas l'équivalent exact de celui que nous venons de définir. La définition que nous venons de donner est une simple définition de mot; une semblable définition est absolument arbitraire : on ne saurait nous la contester, pourvu que nous nous y tenions, ce que nous ferons constamment dans ce Mémoire.

A chaque corps gazeux, simple ou composé, on peut faire correspondre un nombre entier simple (les nombres entiers dont nous aurons ainsi à nous servir sont les nombres 1, 2, 3, 4, 6)

que l'on nomme son *atomicité* (¹). Ce nombre jouit de propriétés que nous allons définir.

Considérons un composé gazeux M, formé par divers composants gazeux A, B, C, ... Soit

$$A^a B^b C^c \ldots$$

sa formule chimique. Soient α, β, γ, ..., μ les atomicités des gaz A, B, C, ..., M.

Prenons, sous une pression et à une température arbitraires, un volume 2V du gaz M. Déterminons la composition de ce volume. A la température considérée, sous la pression considérée, il faut, pour le former, des volumes $a'V$, $b'V$, $c'V$, ... des gaz parfaits A, B, C, ... *On a,* et c'est en cette proposition que consiste la loi que nous voulons énoncer,

$$(22) \qquad \left\{ \begin{array}{l} a = \frac{\alpha}{\mu} a', \\ b = \frac{\beta}{\mu} b', \\ c = \frac{\gamma}{\mu} c', \\ \ldots\ldots\ldots \end{array} \right.$$

Ainsi, d'après cette loi, lorsqu'on connaît la composition en volume d'un composé gazeux ; l'atomicité de ce composé ; l'atomicité des gaz qui le composent, la formule chimique de ce composé est déterminée.

Par exemple l'eau, l'hydrogène, l'oxygène sont diatomiques ; deux volumes de vapeur d'eau renferment deux volumes d'hydrogène et un volume d'oxygène : la formule chimique de l'eau est donc H^2O ; l'hydrogène phosphoré est diatomique ; la vapeur de phosphore est tétratomique ; deux volumes d'hydrogène phosphoré gazeux renferment trois volumes d'hydrogène et un demi-volume de vapeur de phosphore : la formule chimique de l'hydrogène phosphoré est donc PhH^3.

(¹) Il faut bien se garder de confondre l'*atomicité* d'un corps gazeux, telle qu'on la définit ici, et sa *valence,* que l'on nommait autrefois son *atomicité*. La notion d'atomicité que nous définissons ici n'a aucune relation avec la notion de valence. Nous n'aurons pas, au cours de ce Mémoire, à faire usage de cette dernière notion.

Une observation fondamentale au sujet de cette loi : *pour représenter les propriétés de certains gaz, on est obligé d'admettre qu'ils existent sous deux états différents, auxquels correspondent des densités et, partant, des atomicités différentes.*

Ainsi, l'oxygène ordinaire est diatomique ; l'oxygène à l'état d'ozone est triatomique ; le soufre serait hexatomique à 500° et diatomique à 1000° ; l'iode serait diatomique jusqu'à 800° et monoatomique au delà de 1500°. Cette remarque, sur laquelle nous reviendrons plus tard, a, comme nous le verrons alors, une grande importance.

La loi que nous venons d'énoncer est en relation étroite d'une part avec les lois de Gay-Lussac, d'autre part avec la loi d'Avogadro et d'Ampère.

Les nombres α, β, γ, ..., μ sont, avons-nous dit, des nombres simples. Si donc les divers exposants a, b, c, ... qui, dans la formule chimique du composé, affectent les symboles de ces éléments, sont des nombres simples, les nombres a', b', c', ... seront des nombres simples et nous retrouverons la célèbre loi de Gay-Lussac : *Dans les combinaisons gazeuses, les volumes des gaz entrant en combinaison sont dans un rapport simple entre eux et avec le volume du composé.*

La loi d'Avogadro et d'Ampère consiste à énoncer la proposition que nous avons formulée et à y adjoindre celle-ci :

Tous les corps, tant simples que composés, sont diatomiques.

Si cette loi était exacte, les égalités (22) deviendraient simplement

$$a = a', \qquad b = b', \qquad c = c', \qquad \ldots.$$

La détermination de la composition en volume de deux volumes d'une combinaison gazeuse ferait immédiatement connaître sa formule chimique.

Malheureusement, la loi d'Avogadro et d'Ampère présente des exceptions ; ce sont, parmi les corps simples :

Le mercure, le cadmium, l'iode au delà de 1500°, qui sont monoatomiques ;

L'oxygène à l'état d'ozone, qui est triatomique ;

Le phosphore, l'arsenic, qui sont tétratomiques ;

Le soufre vers 500°, qui est hexatomique.

Parmi les corps composés :

L'acide hypoazotique (Az^2O^4), qui est tétratomique.

On peut, par une convention, faire disparaître deux de ces exceptions; cette convention consiste à traiter l'oxygène à l'état d'ozone et le soufre à 500° non comme des corps simples, mais comme des corps composés, formés aux dépens de l'oxygène diatomique et du soufre diatomique, ces composés ayant respectivement pour formules O^3 et S^6. Cette convention, sur laquelle nous reviendrons dans un Chapitre ultérieur, ne fait pas disparaître les autres exceptions à la loi d'Avogadro et d'Ampère, à laquelle il convient, par conséquent, de conserver le caractère, non d'une loi, mais d'une *règle* très généralement vérifiée.

La loi que nous venons d'énoncer donne une importante *relation entre le volume spécifique d'un gaz parfait, son poids moléculaire et son atomicité.*

On voit sans peine, en effet, que cette loi peut s'énoncer de la manière suivante :

Soit Σ le volume d'hydrogène qui a pour masse 1, c'est-à-dire le volume spécifique de l'hydrogène; le poids moléculaire ϖ d'un gaz, simple ou composé, dont α est l'atomicité, est un nombre abstrait égal à la masse d'un volume $\frac{4\Sigma}{\alpha}$ de ce gaz; si donc on désigne par σ le volume spécifique de ce gaz, on a

$$\varpi = \frac{4\Sigma}{\alpha\sigma}$$

ou

$$\sigma = \frac{4\Sigma}{\alpha\varpi} \tag{23}$$

§ VI. — Loi de Delaroche et Bérard.

Delaroche et Bérard, puis Dulong et enfin Regnault, ont énoncé la loi suivante comme conséquence de l'expérience : *Le quotient de la chaleur spécifique sous pression constante d'un gaz simple, voisin de l'état parfait, par son volume spécifique a une valeur qui est sensiblement la même pour tous les gaz dont il s'agit.*

Les nombres suivants montrent à quel point cette loi représente les propriétés des gaz voisins de l'état parfait.

Gaz.	$\frac{C}{\sigma}$
Oxygène	0,24049
Azote	0,23680
Hydrogène	0,23590

Lorsque les autres lois qui définissent l'état gazeux parfait cessent de donner sensiblement une représentation des propriétés d'un gaz, cette loi cesse, elle aussi, de s'appliquer à ce gaz; par exemple, pour le chlore et le brome, elle conduit à des résultats notablement inexacts.

Les divers gaz dont nous venons de parler sont des gaz diatomiques. On a donc, d'après l'égalité (23), entre leur volume spécifique σ et leur poids moléculaire ϖ, la relation

$$\sigma = \frac{2\Sigma}{\varpi}.$$

Donc, on peut encore énoncer de la manière suivante la loi de Delaroche et Bérard :

Pour tous les gaz simples, diatomiques, voisins de l'état parfait, le produit de la chaleur spécifique sous pression constante par le poids moléculaire a sensiblement une même valeur A.

Comparons cette égalité

$$\varpi C = A \tag{24}$$

à l'égalité, vraie pour tous les gaz parfaits,

$$C - \gamma = \frac{R\sigma}{E}, \tag{19 bis}$$

qui, pour les gaz diatomiques, devient, en vertu de l'égalité (23),

$$\varpi(C - \gamma) = \frac{2R\Sigma}{E}.$$

Elle nous donne

$$\varpi\gamma = A - \frac{2R\Sigma}{E} = B. \tag{25}$$

Le second membre a même valeur pour tous les gaz parfaits diatomiques; on peut donc donner de la loi de Delaroche et Bérard ce nouvel énoncé :

Pour tous les gaz simples parfaits, diatomiques, le produit de la chaleur spécifique sous volume constant par le poids moléculaire a une même valeur B.

Les deux égalités

$$\varpi C = A, \tag{24}$$

$$\varpi \gamma = B \tag{25}$$

donnent

$$\frac{C}{\gamma} = \frac{A}{B}. \tag{26}$$

La loi de Delaroche et Bérard entraîne donc encore la conséquence suivante :

Pour tous les gaz simples, diatomiques, voisins de l'état parfait, le rapport des deux chaleurs spécifiques a une même valeur.

Voici quelques nombres qui fournissent le contrôle expérimental de cette proposition :

	Valeurs du rapport $\frac{C}{c}$ d'après			
Gaz.	Dulong.	Masson.	Cazin.	Jamin et Richard.
Oxygène.....	1,398	1,401	1,410	
Azote.....		1,401	1,410	
Hydrogène....	1,390	1,401	1,410	1,41

Comme la loi de Delaroche et Bérard, cette loi cesse de donner une représentation exacte des phénomènes pour les gaz dont les autres propriétés ne sont plus exactement représentées par les lois qui définissent l'état parfait.

Ainsi M. Strecker a trouvé que, pour le chlore, le brome et l'iode, le rapport $\frac{C}{\gamma}$ avait les valeurs suivantes :

Chlore.....	1,323
Brome.....	1,293
Iode.....	1,294

Tant qu'on ne considère que les gaz simples diatomiques, on peut regarder comme équivalents ces deux énoncés :

Le produit du poids moléculaire par la chaleur spécifique sous pression constante a la même valeur A pour tous ces gaz;

Le quotient de la chaleur spécifique sous pression constante par le volume spécifique a la même valeur $\frac{A}{2\Sigma}$ pour tous ces gaz.

Lorsqu'on envisage non seulement les gaz simples diatomiques, mais encore les autres gaz simples, ces deux énoncés ne sont plus équivalents, comme nous allons le voir.

Supposons tout d'abord *le premier énoncé exact* pour tous les gaz simples. Nous aurons alors, pour tous les gaz simples,

$$\varpi C = A. \tag{24}$$

Moyennant l'égalité (23), l'égalité (24) devient

$$\frac{C}{\sigma} = \frac{\alpha}{4\Sigma}. \tag{27}$$

Le quotient $\frac{C}{\sigma}$ *aura la même valeur pour tous les gaz simples qui ont la même atomicité. Pour deux gaz simples d'atomicité différente, les valeurs du quotient* $\frac{C}{\sigma}$ *seront entre elles comme les atomicités des deux gaz.*

L'égalité

$$C - \gamma = \frac{R\sigma}{E} \tag{19 bis}$$

donnera, moyennant les égalités (23) et (24),

$$\varpi\gamma = A - \frac{4R\Sigma}{\alpha}. \tag{28}$$

Le produit de la chaleur spécifique sous volume constant par le poids moléculaire aura la même valeur pour tous les gaz simples qui ont même atomicité. Ce produit sera d'autant plus grand que l'atomicité du gaz est plus grande.

Les égalités (24) et (28) donnent

$$\frac{C}{\gamma} = \frac{1}{1 - \frac{4R\Sigma}{A\alpha}}. \tag{29}$$

Le rapport des deux chaleurs spécifiques est le même pour tous les gaz simples qui ont même atomicité; il est d'autant plus petit que l'atomicité du gaz est plus grande.

Telles sont les conséquences auxquelles on parviendrait si l'on supposait exact le premier énoncé.

Supposons maintenant *exact le second énoncé.* Nous aurons, pour tous les gaz simples,

$$\frac{C}{\sigma} = \frac{A}{2\Sigma}. \tag{30}$$

Cette égalité (30), jointe à l'égalité (23), donne

$$\varpi C = \frac{2A}{\alpha}. \tag{31}$$

Le produit de la chaleur spécifique sous pression constante par le poids moléculaire a la même valeur pour tous les gaz simples qui ont la même atomicité. Cette valeur est en raison inverse de l'atomicité.

L'égalité générale

$$C - \gamma = \frac{R\sigma}{E},$$

jointe à l'égalité (30), donne

$$\frac{\gamma}{\sigma} = \frac{A}{2\Sigma} - \frac{R}{E}. \tag{32}$$

Le quotient de la chaleur spécifique sous volume constant par le volume spécifique a la même valeur pour tous les gaz simples.

Les égalités (32) et (23) donnent

$$\varpi\gamma = \frac{4\Sigma}{\alpha}\left(\frac{A}{2\Sigma} - \frac{R}{E}\right). \tag{33}$$

Le produit du poids moléculaire par la chaleur spécifique sous volume constant a la même valeur pour tous les gaz simples qui ont la même atomicité. Cette valeur est en raison inverse de l'atomicité.

Si l'on compare soit les deux égalités (30) et (32), soit les

deux égalités (31) et (33), on trouve

$$\frac{C}{\gamma} = \frac{1}{1 - \frac{2R\Sigma}{AE}}. \tag{34}$$

Le rapport des deux chaleurs spécifiques a la même valeur pour tous les gaz simples.

Ainsi, on peut donner de la loi de Delaroche et Bérard deux énoncés qui sont équivalents pour les gaz simples diatomiques. Suivant que l'on généralise l'un ou l'autre de ces deux énoncés, on arrive, pour les corps simples non diatomiques, à des conséquences différentes.

Quel est celui des deux énoncés qu'il convient de prendre comme loi générale applicable à tous les gaz simples voisins de l'état parfait?

La méthode qui doit fournir la réponse à cette question semble immédiate; les deux généralisations conduisant à des résultats différents, il suffit de chercher quels sont, parmi ces résultats, ceux qui fournissent une image approchée des propriétés des gaz voisins de l'état parfait.

Malheureusement, l'application de cette méthode se heurte à une grave difficulté : *les seuls gaz qui aient été l'objet d'études précises dans les conditions où ils s'approchent de l'état parfait sont des corps diatomiques,* dont l'examen ne peut servir à décider la question en litige.

Un seul fait peut servir, jusqu'ici, à guider notre choix. MM. Kundt et Warburg ont déterminé la valeur du rapport $\frac{C}{\gamma}$ pour un gaz monoatomique, la vapeur de mercure; si nous admettons que la vapeur de mercure puisse être, au moins grossièrement, assimilée à un gaz parfait, le résultat qu'ils ont obtenu peut servir à décider entre les deux lois proposées. Le résultat trouvé

$$\frac{C}{\gamma} = 1,666$$

s'accorde avec la formule (29), mais nullement avec la formule (34).

Nous accepterons donc comme énoncé général de la loi de Delaroche et Bérard l'énoncé suivant :

Pour tous les gaz parfaits simples, le produit du poids moléculaire par la chaleur spécifique sous pression constante a la même valeur A.

Arrivons maintenant aux *gaz composés* et considérons en premier lieu les *gaz composés formés sans condensation.* Pour ceux-ci, aucun doute ne saurait subsister.

Pour tous les gaz composés formés sans condensation et voisins de l'état parfait, le quotient de la chaleur spécifique sous pression constante par le volume spécifique a sensiblement la même valeur; cette valeur est sensiblement la même que pour les gaz simples diatomiques.

L'exactitude de cette loi résulte de l'inspection des nombres suivants :

Gaz.	$\frac{c}{\sigma}$
Oxygène	0,24049
Azote	0,23680
Hydrogène	0,23590
Bioxyde d'azote	0,2406
Oxyde de carbone	0,2370
Acide chlorhydrique	0,2352

Tous ces gaz sont diatomiques. La loi précédente peut donc encore s'énoncer ainsi :

Le produit du poids moléculaire par la chaleur spécifique sous pression constante a la même valeur pour tous les gaz simples ou composés formés sans condensation.

Elle conduit sans peine à cette nouvelle proposition :

Le rapport des deux chaleurs spécifiques a la même valeur pour tous les gaz diatomiques simples ou composés formés sans condensation.

L'expérience confirme encore cette loi, comme le marque le Tableau suivant :

Gaz.	$\frac{C}{\gamma}$.	Observateurs.
Oxygène	1,398	Dulong.
»	1,401	Masson.
»	1,410	Cazin.
Azote	1,401	Masson.
»	1,410	Cazin.
Hydrogène	1,390	Dulong.
»	1,401	Masson.
»	1,410	Cazin.
»	1,41	Jamin et Richard.
Oxyde de carbone	1,407	Dulong.
»	1,409	Masson.
»	1,410	Cazin.
» à 0°	1,40320	Wüllner.
» à 100°	1,39465	»
Bioxyde d'azote	1,390	Masson.
Acide chlorhydrique à 20°	1,389	Strecker.
» à 100°	1,400	»
Acide bromhydrique à 20°	1,422	»
» à 100°	1,444	»
Acide iodhydrique à 20°	1,397	»
» à 100°	1,396	»

Pour les gaz composés formés avec condensation, il n'est possible d'énoncer la loi de Delaroche et Bérard qu'après avoir défini le mot *poids atomique moyen* d'un corps composé.

Soit un composé formé de n atomes du corps simple A, de n' atomes du corps simple B, de n'' atomes du corps simple C, ...

Soient ϖ, ϖ', ϖ'', ... les poids *moléculaires* des corps A, B, C, ... Les poids atomiques de ces corps seront

$$p = \frac{\varpi}{2}, \qquad p' = \frac{\varpi'}{2}, \qquad p'' = \frac{\varpi''}{2}, \qquad \ldots.$$

Nous nommerons, avec Wœstyne, *poids atomique moyen du corps composé* la quantité

$$(35) \qquad P = \frac{np + n'p' + n''p'' + \ldots}{n + n' + n'' + \ldots} = \frac{n\varpi + n'\varpi' + n''\varpi'' + \ldots}{2(n + n' + n'' + \ldots)}.$$

Cette définition posée, nous énoncerons d'une manière entiè-

rement générale la loi suivante : *Le produit du poids atomique moyen par la chaleur spécifique sous pression constante a la même valeur* $\frac{A}{2}$ *pour tous les gaz voisins de l'état parfait.*

Nous allons voir tout d'abord que cet énoncé renferme, comme cas particuliers, les énoncés que nous avons déjà acceptés pour les gaz simples et pour les gaz composés formés sans condensation.

1° La notion de poids atomique moyen, appliquée à un corps simple, coïncide avec la notion de poids atomique; la loi précédente, appliquée aux gaz simples, conduit donc à la proposition que voici :

Le produit du poids atomique par la chaleur spécifique sous pression constante a, pour tous les gaz simples, la même valeur $\frac{A}{2}$.

Si l'on remarque que le poids moléculaire d'un gaz simple est, par définition, le double du poids atomique, on voit que cet énoncé reproduit la loi que nous avons acceptée pour tous les gaz simples.

2° Tous les gaz composés formés sans condensation que l'on connaît sont des gaz diatomiques formés par l'union, à volumes égaux, de deux gaz diatomiques. On a donc, pour un tel gaz,

$$n = n' = 1,$$

et le poids moléculaire du composé a pour valeur

$$\Pi = \frac{\varpi + \varpi'}{2}.$$

Dès lors, la loi précédente appliquée à un tel gaz redonne la formule

$$\Pi C = A,$$

qui exprime la loi de Delaroche et Bérard pour les gaz composés formés sans condensation.

Il reste donc à prouver que la loi que nous venons d'énoncer est approximativement exacte pour les gaz composés formés avec condensation lorsque ces gaz ne s'écartent pas trop de l'état par-

fait; c'est ce qui résulte du Tableau suivant qui renferme, pour divers gaz, la valeur du produit PC. Dans le calcul de ces valeurs, on a pris 100 pour poids atomique de l'oxygène.

Gaz.	Valeur du produit P×C.
1° *Gaz simples.*	
Oxygène	21,75
Azote	21,32
Hydrogène	21,33
2° *Gaz composés formés sans condensation.*	
Bioxyde d'azote	21,75
Oxyde de carbone	21,33
Acide chlorhydrique	21,09
3° *Gaz composés formés avec condensation.*	
Acide carbonique	19,87
Protoxyde d'azote	20,73
Acide sulfureux	20,57
Vapeur d'eau	18,01

Lorsque les autres lois relatives à l'état parfait donnent pour un gaz, simple ou composé, des résultats très inexacts, il en est de même de la loi que nous venons d'énoncer. Ce résultat, auquel on devait s'attendre, est mis en évidence par le Tableau suivant :

Gaz.	Valeur du produit P×C.
Chlore	26,8
Brome	27,6
Hydrogène sulfuré	16,57
Sulfure de carbone	24,83

Considérons un gaz composé dont

P est le poids atomique moyen;
Π le poids moléculaire;
$\mathcal{A}$ l'atomicité;
C la chaleur spécifique sous pression constante;
Γ la chaleur spécifique sous volume constant.

La loi que nous venons d'énoncer donne, pour ce gaz,

$$PC = \frac{A}{2}. \tag{36}$$

Les formules (19 *bis*) et (23) donnent

$$\Pi(C - \Gamma) = \frac{4R\Sigma}{\mathcal{A}E}.$$

Si nous conservons les notations qui figurent dans la formule (35), nous aurons

$$\Pi = np + n'p' + n''p'' + \ldots = (n + n' + n'' + \ldots)P.$$

Nous aurons donc

$$(37) \qquad P\Gamma = \frac{A}{2} - \frac{4R\Sigma}{E} \frac{1}{(n + n' + n'' + \ldots)\mathcal{A}}.$$

Ainsi, *le produit* $P\Gamma$ *n'a pas, en général, la même valeur pour tous les gaz; il a la même valeur pour tous les gaz composés qui ont même atomicité et sont formés d'un même nombre d'atomes simples.*

Ainsi, pour l'acide carbonique, l'acide sulfureux, le protoxyde d'azote, gaz diatomiques formés par l'union de trois atomes simples, le produit du poids atomique moyen par la chaleur spécifique a volume constant aura même valeur. Voici, en effet, des nombres proportionnels au produit $P\Gamma$ pour ces trois gaz :

Acide carbonique	1,55
Acide sulfureux	1,64
Protoxyde d'azote	1,62

Tandis qu'en adoptant le même coefficient de proportionnalité, on aurait :

Oxygène	1,018
Azote	0,996
Hydrogène	0,990
Bioxyde d'azote	1,018
Oxyde de carbone	0,997

Les égalités (36) et (37) donnent

$$(38) \qquad \frac{C}{\Gamma} = \frac{1}{1 - \frac{8R\Sigma}{AE} \frac{1}{(n + n' + n'' + \ldots)\mathcal{A}}}.$$

Le rapport des deux chaleurs spécifiques d'un gaz composé

donne lieu aux mêmes remarques que le produit du poids atomique moyen par la chaleur spécifique sous volume constant.

Les formules (37) et (38) donnent lieu à une transformation, dans le cas où les gaz composants ont tous la même atomicité.

Un volume 2V du gaz composé renferme des volumes λV, $\lambda' V$, $\lambda'' V$, ... des gaz composants; les égalités (22) donnent

$$n = \frac{\alpha}{\mathcal{A}}\lambda, \qquad n' = \frac{\alpha'}{\mathcal{A}}\lambda', \qquad n'' = \frac{\alpha''}{\mathcal{A}}\lambda'', \qquad \ldots,$$

α, α', α'', ... étant les atomicités des gaz composants. On a donc, en général,

$$\mathcal{A}(n + n' + n'' + \ldots) = (\alpha\lambda + \alpha'\lambda' + \alpha''\lambda'' + \ldots). \tag{39}$$

Dans le cas particulier où

$$\alpha = \alpha' = \alpha'' = \ldots,$$

l'égalité (39) devient

$$\mathcal{A}(n + n' + n'' + \ldots) = \alpha(\lambda + \lambda' + \lambda'' + \ldots).$$

La *fraction de condensation* est définie par l'égalité

$$\psi = \frac{(\lambda + \lambda' + \lambda'' + \ldots) - 2}{\lambda + \lambda' + \lambda'' + \ldots}. \tag{40}$$

On a donc

$$\mathcal{A}(n + n' + n'' + \ldots) = \frac{2\alpha}{1 - \psi}.$$

Ainsi, *lorsque les gaz simples qui forment un composé gazeux ont tous une même atomicité α, on a, pour ce composé,*

$$P\Gamma = \frac{A}{2} - \frac{2R\Sigma}{E\alpha}(1 - \psi), \tag{41}$$

$$\frac{C}{\Gamma} = \frac{1}{1 - \frac{4R\Sigma}{AE\alpha}(1 - \psi)}. \tag{42}$$

Dans le cas particulier où les gaz simples qui forment le corps composé sont tous diatomiques, on a, quelle que soit l'atomicité

du corps composé,

(41 *bis*) $$P\Gamma = \frac{A}{2} - \frac{R\Sigma}{E}(1-\psi),$$

(42 *bis*) $$\frac{C}{\Gamma} = \frac{1}{1 - \frac{2R\Sigma}{AE}(1-\psi)}.$$

Cette dernière équation conduit à la conséquence suivante :

Dans les gaz composés formés de gaz simples diatomiques, le rapport des chaleurs spécifiques est d'autant plus petit que la condensation est plus grande.

Si l'on adopte 1,40 pour valeur du rapport des chaleurs spécifiques des gaz formés sans condensation, on trouve,

Pour $\psi = 0$,	$\frac{1}{3}$,	$\frac{1}{2}$,	$\frac{3}{5}$,
$\frac{C}{\Gamma} = 1,40$,	1,235,	1,166,	1,129.

Comparons ces valeurs aux valeurs trouvées expérimentalement par M. Wüllner :

Gaz pour lesquels $\psi = \frac{1}{3}$.	$\frac{C}{\Gamma}$.
Acide carbonique à 0°	1,31131
» à 100°	1,28212
Protoxyde d'azote à 0°	1,3106
» à 100°	1,27238
Gaz pour lequel $\psi = \frac{1}{2}$.	**$\frac{C}{\Gamma}$.**
Ammoniaque à 0°	1,3172
» à 100°	1,2770
Gaz pour lequel $\psi = \frac{3}{5}$.	**$\frac{C}{\Gamma}$.**
Éthylène à 0°	1,24548
» à 100°	1,1870

Ces valeurs, expérimentalement trouvées pour $\frac{C}{\Gamma}$, sont notablement plus fortes que les valeurs prévues par la théorie; mais on remarquera qu'il s'agit ici :

1° D'expériences sujettes à des causes d'erreur très notables;

2° De gaz sensiblement éloignés de l'état parfait;

3° Enfin, les valeurs de $\frac{C}{T}$, trouvées expérimentalement, décroissent notablement lorsque la température s'élève, c'est-à-dire lorsque le gaz se rapproche de l'état parfait.

L'ensemble des discussions exposées dans ce dernier paragraphe nous paraît donc autoriser l'introduction de la loi de Delaroche et Bérard, sous la forme que nous lui avons donnée en dernier lieu, au nombre des lois qui définissent les gaz parfaits.

§ VII. — **Résumé.**

En résumé, nous nommerons *gaz parfait* un gaz idéal obéissant aux quatre lois suivantes :

1° A une température donnée, le produit du volume spécifique du gaz par la pression qu'il supporte est une quantité constante;

2° Si l'on fait varier le volume du gaz sans faire varier sa température et sans que les forces extérieures auxquelles il est soumis effectuent aucun travail, le gaz ne dégage aucune quantité de chaleur;

3° Si l'on prend pour température la température absolue, la chaleur spécifique sous pression constante du gaz est la même à toute température;

4° Pour tous ces gaz, le produit du poids atomique moyen par la chaleur spécifique sous pression constante a la même valeur.

Les conséquences de ces lois ne représentent, en toute rigueur, les propriétés d'aucun gaz réel; mais elles représentent, avec une approximation plus ou moins grande, les propriétés d'un certain nombre de gaz réels pris entre des limites de température et de pression convenablement choisies.

CHAPITRE II.

LES MÉLANGES DE GAZ PARFAITS.

§ I. — Définition d'un mélange de gaz parfaits.

Nous voici arrivé à l'un des points les plus délicats de la théorie que nous exposons. Ce point a fait l'objet de nombreuses contestations, a provoqué de nombreux écrits; nous espérons arriver, dans ce Chapitre, à le tirer tout à fait au clair.

Pour ne pas embrouiller les uns avec les autres plusieurs sujets de litige, nous aurons soin, dans le présent Chapitre, de n'employer, dans la définition des gaz parfaits, que les deux premières des quatre lois rappelées dans le résumé précédent; nous n'invoquerons ni la loi qui déclare la chaleur spécifique sous pression constante indépendante de la température, ni la loi de Delaroche et Bérard. De la sorte, la définition du gaz parfait adoptée dans le présent Chapitre ne différera en rien de celle qui est adoptée par les plus timorés parmi les physiciens ayant traité de la Thermodynamique.

Le potentiel thermodynamique interne de l'unité de masse d'un gaz parfait sera alors donné par la formule [Chap. I, égalité (13 *bis*)]

$$\Psi(v, T) = -R\sigma T \log v + \chi(T). \tag{1}$$

La fonction $\chi(T)$ renferme, en vertu des propriétés générales du potentiel thermodynamique, une fonction linéaire de la température dont les coefficients ne peuvent être fixés par la seule étude des propriétés du gaz. Ces coefficients sont absolument arbitraires si nous considérons le gaz en soi et indépendamment de ses origines.

Si le gaz provient d'une transformation d'un ou plusieurs autres corps, ces coefficients sont liés aux coefficients analogues relatifs à ces corps par des relations que nous fournit l'étude de la transformation dont ce gaz provient. Nous avons vu, par exemple, dans notre Mémoire *Sur la continuité entre l'état liquide et l'état gazeux et sur la théorie générale des vapeurs*, comment

s'établissaient ces relations dans le cas où le gaz provient de la vaporisation d'un liquide.

Lorsque, dans la suite, nous parlerons d'un gaz, nous supposerons que les valeurs de ces coefficients soient fixées, arbitrairement si ces coefficients sont arbitraires ; conformément aux relations auxquelles ils sont assujettis, s'il existe de semblables relations.

Arrivons maintenant à la définition des mélanges de gaz parfaits ; et d'abord quelques mots sur la nécessité d'une semblable définition.

Mettons en communication, dans l'obscurité, une éprouvette renfermant de l'hydrogène et une éprouvette renfermant du chlore; au bout d'un certain temps, l'ensemble des deux éprouvettes renferme un gaz homogène, doué de certaines propriétés. Abandonnons ces deux éprouvettes à la lumière diffuse. Au bout d'un nouveau laps de temps, les deux éprouvettes renfermeront un nouveau gaz homogène dont les propriétés ne seront pas les mêmes que celles du premier gaz.

Qu'est-ce qui fait dire aux chimistes que le premier gaz est un *mélange* d'hydrogène et de chlore et que le second est une *combinaison* d'hydrogène et de chlore, l'acide chlorhydrique? Une sorte de flair, d'intuition ; mais si l'on venait à nier à un chimiste que le premier gaz fût un mélange et que le second fût une combinaison, quel principe logique pourrait-il invoquer pour réduire son contradicteur au silence? Évidemment aucun; car le mot *mélange* n'est ni un mot qui ait été défini, ni un de ces mots si clairs que l'esprit n'a pas besoin de définition pour délimiter leur sens d'une manière précise.

Avant donc que nous introduisions le mot *mélange de gaz* dans nos raisonnements thermodynamiques, il est nécessaire que nous donnions de ce mot une définition.

La définition thermodynamique d'un corps est complète lorsqu'on possède sur ce corps un ensemble de renseignements qui font connaître la forme de son potentiel thermodynamique interne. Si donc on veut que le mélange de plusieurs gaz soit défini au point de vue de la Thermodynamique lorsque les gaz qui le forment sont définis au point de vue de la Thermodynamique, on devra énoncer une règle qui permette de former l'expression du

potentiel thermodynamique interne du mélange lorsque l'on connaît l'expression des potentiels thermodynamiques internes des gaz composants pris isolément.

Cette règle n'est pas entièrement arbitraire. Elle doit satisfaire à certains caractères que les physiciens et les chimistes ont toujours attribués au mélange de deux gaz ; ces caractères sont les suivants :

1° Un mélange de gaz parfaits, de composition donnée, doit se comporter comme un gaz parfait unique.

2° La pression exercée par un mélange de gaz parfaits qui occupe un certain volume, à une certaine température, doit être la somme des pressions qu'exerceraient les divers gaz mélangés si chacun d'eux occupait seul, à la même température, le volume entier du mélange.

3° Si l'on met en communication des récipients solides renfermant des gaz parfaits différents, ces gaz doivent se diffuser l'un dans l'autre jusqu'à ce qu'ils forment un mélange homogène.

4° Cette diffusion, accomplie en vase clos, à température constante, ne doit mettre en jeu aucune quantité de chaleur.

Si donc nous donnons une définition du mot mélange de gaz parfaits, cette définition ne pourra être acceptée à moins qu'elle n'implique ces quatre caractères.

Considérons n gaz parfaits $G_1, G_2, \ldots, G_n$. Nous dirons qu'*un gaz* γ *de masse*

$$\mu = m_1 + m_2 + \ldots + m_n$$

est le mélange de

la masse m_1 du gaz G_1,
la masse m_2 du gaz G_2,
.....
la masse m_n du gaz G_n,

si, sous le volume V, *à la température* T, *ce gaz possède un potentiel thermodynamique interne égal à la somme*

du potentiel thermodynamique interne de la masse m_1 du gaz G_1,
du potentiel thermodynamique interne de la masse m_2 du gaz G_2,
.....,
du potentiel thermodynamique interne de la masse m_n du gaz G_n,

chacune de ces masses étant prise isolément sous le volume V, *à la température* T.

Nous allons prouver que cette définition satisfait bien aux quatre conditions que nous avons énumérées.

Nous supposerons, dans quelques-uns des raisonnements que nous allons faire, que le mélange se compose seulement de deux gaz, G_1 et G_2 ; cette hypothèse ne diminue en rien la généralité des raisonnements et elle simplifie les écritures.

Si la masse m_1 du gaz G_1 occupait seule le volume V, elle aurait un volume spécifique

$$v_1 = \frac{V}{m_1}.$$

D'après l'égalité (1), à la température T, elle aurait un potentiel thermodynamique interne

$$(2) \qquad m_1 \Psi_1(v_1, T) = -m_1 RT \sigma_1 \log \frac{V}{m_1} + m_1 \chi_1(T),$$

σ_1 étant le volume spécifique du gaz G_1 dans les conditions normales de température et de pression et $\chi_1(T)$ une fonction qui dépend de la nature du gaz G_1.

De même, la masse m_2 du gaz G_2, prise sous le volume V, à la température T, admet, pour potentiel thermodynamique interne,

$$(2\ bis) \qquad m_2 \Psi_2(v_2, T) = -m_2 RT \sigma_2 \log \frac{V}{m_2} + m_2 \chi_2(T).$$

Soit $F(m_1, m_2, V, T)$ le potentiel thermodynamique du mélange. Par définition, on a

$$(3) \qquad F(m_1, m_2, V, T) = m_1 \Psi_1(v_1, T) + m_2 \Psi_2(v_2, T).$$

Cette égalité nous donne, en premier lieu,

$$\frac{\partial}{\partial V} F(m_1, m_2, V, T) = m_1 \frac{\partial \Psi_1(v_1, T)}{\partial V} + m_2 \frac{\partial \Psi_2(v_2, T)}{\partial V},$$

ou bien, à cause des égalités

$$V = m_1 v_1, \qquad V = m_2 v_2,$$

$$(4) \qquad \frac{\partial}{\partial V} F(m_1, m_2, V, T) = \frac{\partial \Psi_1(v_1, T)}{\partial v_1} + \frac{\partial \Psi_2(v_2, T)}{\partial v_2}.$$

Soit P la pression nécessaire pour maintenir le mélange en équilibre sous le volume V à la température T. On sait que l'on a

$$P = -\frac{\partial}{\partial V} F(m_1, m_2, V, T).$$

Soient p_1 et p_2 les pressions nécessaires pour maintenir respectivement en équilibre les gaz G_1, G_2, sous les volumes spécifiques v_1, v_2, à la température T. On sait que l'on a

$$p_1 = -\frac{\partial \Psi_1(v_1, T)}{\partial v_1}, \qquad p_2 = -\frac{\partial \Psi_2(v_2, T)}{\partial v_2}.$$

L'égalité (4) devient donc

$$P = p_1 + p_2. \tag{5}$$

La pression exercée par un mélange de gaz parfaits est égale à la somme des pressions qu'exerceraient les gaz mélangés si chacun d'eux occupait seul, à la même température, le volume entier du mélange.

L'égalité (5) peut s'écrire

$$P = -\frac{\partial \Psi_1(v_1, T)}{\partial v_1} - \frac{\partial \Psi_2(v_2, T)}{\partial v_2}$$

ou bien

$$P = TR\left(\frac{\sigma_1}{v_1} + \frac{\sigma_2}{v_2}\right).$$

Or, on a

$$m_1 v_1 = V, \qquad m_2 v_2 = V$$

et l'égalité précédente peut s'écrire

$$PV = RT(m_1\sigma_1 + m_2\sigma_2).$$

Or, il est aisé de voir, d'après la loi du mélange des gaz, que, dans les conditions normales de température et de pression, le mélange gazeux aurait un volume spécifique

$$\Sigma = \frac{m_1\sigma_1 + m_2\sigma_2}{m_1 + m_2}.$$

L'égalité précédente peut donc s'écrire

$$P\frac{V}{m_1 + m_2} = R\Sigma T.$$

Ainsi, *un mélange de gaz dont la composition est donnée se comporte comme un gaz unique qui suit les lois de Mariotte et de Gay-Lussac.*

L'énergie interne du mélange de gaz est donnée par la formule

$$EU = F(m_1, m_2, V, T) - T\frac{\partial}{\partial T}F(m_1, m_2, V, T),$$

ce qui, en vertu des égalités (2), (2 *bis*) et (3), peut encore s'écrire

$$(6)\quad EU = m_1\left[\chi_1(T) - T\frac{d}{dT}\chi_1(T)\right] + m_2\left[\chi_2(T) - T\frac{d}{dT}\chi_2(T)\right].$$

L'énergie interne d'un mélange de gaz parfaits de composition donnée ne dépend que de la température et point du volume occupé par le mélange.

L'ensemble des deux dernières propositions que nous avons obtenues peut se résumer en un énoncé unique :

Un mélange de gaz parfaits, de composition donnée, se comporte comme un gaz parfait unique.

L'égalité (6) peut se mettre sous une autre forme.

Soient Υ_1 et Υ_2 les énergies internes des masses m_1, m_2 des gaz G_1, G_2, prises isolément à la température T ; on a

$$E\Upsilon_1 = m_1\left[\chi_1(T) - T\frac{d}{dT}\chi_1(T)\right],$$
$$E\Upsilon_2 = m_2\left[\chi_2(T) - T\frac{d}{dT}\chi_2(T\ \right]$$

et l'égalité (6) devient

$$(7)\qquad U = \Upsilon_1 + \Upsilon_2.$$

L'énergie interne d'un mélange de gaz parfaits est égale à la somme des énergies internes des gaz mélangés pris isolément à la même température.

L'entropie du mélange gazeux est donnée par l'égalité

$$S = -\frac{\partial F(V, T)}{\partial T} = -m_1\frac{\partial \Psi_1(v_1, T)}{\partial T} - m_2\frac{\partial \Psi_2(v_2, T)}{\partial T}.$$

Soient Σ_1, Σ_2 les entropies des masses m_1, m_2 des gaz G_1, G_2, supposées prises isolément sous le volume V, à la température T; nous aurons

$$E\Sigma_1 = -m_1 \frac{\partial \Psi_1(v_1, T)}{\partial T},$$

$$E\Sigma_2 = -m_2 \frac{\partial \Psi_2(v_2, T)}{\partial T},$$

et l'égalité précédente pourra s'écrire

$$S = \Sigma_1 + \Sigma_2. \tag{8}$$

L'entropie d'un mélange de gaz parfaits pris sous un certain volume, à une même température, est la somme des entropies qu'auraient les gaz mélangés si chacun d'eux occupait seul, à la même température, le volume entier du mélange.

Les propositions données par les égalités (7) et (8) sont des conséquences de la définition que nous avons donnée d'un mélange de gaz parfaits. Mais, *réciproquement, ces propositions peuvent être regardées comme constituant par leur ensemble une nouvelle définition d'un mélange de gaz parfaits.*

Pour le démontrer, il suffit de prouver que l'on peut en déduire la définition que nous avons donnée; or, la preuve est immédiate, car les égalités (7) et (8) donnent

$$E(U - TS) = E(\Upsilon_1 - T\Sigma_1) + E(\Upsilon_2 - T\Sigma_2).$$

Soit Φ le potentiel thermodynamique sous la pression constante P, à la température T, d'un mélange de gaz parfaits. Soit V le volume du mélange sous cette pression et à cette température. Nous avons, par définition,

$$\Phi = E(U - TS) + PV.$$

En vertu des égalités (5), (7) et (8), cette égalité peut s'écrire de la manière suivante

$$\Phi = E(\Upsilon_1 - T\Sigma_1) + p_1 V + E(\Upsilon_2 - T\Sigma_2) + p_2 V.$$

A une température déterminée, le potentiel thermodynamique d'un mélange de gaz parfaits sous la pression constante

qui lui fait occuper un volume déterminé est la somme des potentiels thermodynamiques des gaz mélangés sous la pression constante qui ferait occuper à chacun d'eux isolément le même volume.

Cette proposition peut être à son tour regardée comme une nouvelle définition du mélange de gaz parfaits, définition équivalente à celle que nous avons donnée.

Imaginons qu'une masse m_1 de gaz G_1 occupe seule, à la température T, un récipient solide de volume V_1; soit $\mathcal{F}_1(V_1, T)$ son potentiel thermodynamique interne dans ces conditions; soit $\Upsilon_1(T)$ son énergie interne.

Imaginons de même qu'une masse m_2 de gaz G_2 occupe seule, à la température T, un récipient solide de volume V_2; soit $\mathcal{F}_2(V_2, T)$ son potentiel thermodynamique interne dans ces conditions; soit $\Upsilon_2(T)$ son énergie interne....

Mettons en communication les récipients V_1, V_2, ... qui étaient d'abord isolés et imaginons que les gaz se diffusent jusqu'à remplir le volume $(V_1 + V_2 + \ldots)$ d'un mélange homogène, à la même température T.

Cherchons le travail non compensé τ qui accompagne cette modification.

Ce travail est égal, puisque le travail externe est nul, à l'excès de la valeur initiale du potentiel thermodynamique interne du système sur sa valeur finale.

Des conventions posées au début de notre Mémoire *Sur la continuité entre l'état liquide et l'état gazeux et sur la théorie générale des vapeurs,* il résulte que la valeur initiale du potentiel thermodynamique interne du système est

$$\mathcal{F}_1(V_1, T) + \mathcal{F}_2(V_2, T) + \ldots.$$

D'autre part, sa valeur finale est

$$F[m_1, m_2, \ldots, (V_1 + V_2 + \ldots), T].$$

Mais la définition d'un mélange de gaz parfaits donne

$$\begin{aligned} &F[m_1, m_2, \ldots, (V_1 + V_2 + \ldots), T] \\ &\quad = \mathcal{F}_1[(V_1 + V_2 + \ldots), T] + \mathcal{F}_2[(V_1 + V_2 + \ldots), T] + \ldots. \end{aligned}$$

On a donc

$$\begin{aligned}\tau = \; & \mathcal{F}_1(V_1, T) - \mathcal{F}_1[(V_1 + V_2 + \ldots), T] \\ & + \mathcal{F}_2(V_2, T) - \mathcal{F}_2[(V_1 + V_2 + \ldots), T] \\ & + \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots,\end{aligned}$$

ou bien, en vertu des égalités (2), (2 *bis*), etc.,

$$\tau = RT\left(m_1\sigma_1 \log\frac{V_1 + V_2 + \ldots}{V_1} + m_2\sigma_2 \log\frac{V_1 + V_2 + \ldots}{V_2} + \ldots\right).$$

Cette égalité nous montre que τ est certainement positif. Donc, *si l'on met en communication, à une même température, des récipients renfermant des gaz parfaits différents, ces gaz se diffusent jusqu'à remplir l'ensemble des récipients d'un mélange homogène. Le phénomène n'est pas réversible.*

Calculons la quantité de chaleur mise en jeu dans cette modification.

Soit Q cette quantité de chaleur. Le travail des forces extérieures dans la modification précédente étant égal à o, le produit EQ est égal à l'excès de la valeur initiale

$$\Upsilon_1(T) + \Upsilon_2(T) + \ldots$$

de l'énergie interne du système sur sa valeur finale

$$U(m_1, m_2, \ldots, T).$$

Mais l'égalité (7) nous donne

$$U(m_1, m_2, \ldots, T) = \Upsilon_1(T) + \Upsilon_2(T) + \ldots.$$

On a donc

$$Q = 0.$$

Le mélange de plusieurs gaz parfaits à température constante, dans un espace de volume invariable, n'entraîne aucun phénomène calorifique.

Ainsi, la définition que nous avons donnée d'un mélange de gaz parfaits s'accorde avec les quatre propositions auxquelles, d'après les habitudes du langage, doit satisfaire le mot mélange de gaz.

Ces quatre propositions suffiraient-elles à définir le mot mélange de gaz parfaits? En d'autres termes, suffiraient-elles à déter-

miner la forme du potentiel thermodynamique interne d'un semblable mélange? C'est ce que nous allons maintenant examiner.

La seconde proposition exige qu'un mélange de gaz parfaits, dont la composition, fixée par la connaissance des masses m_1, m_2, est donnée, se comporte comme un gaz parfait unique, de masse $(m_1 + m_2)$. D'après l'égalité (2), cette condition exige que le potentiel thermodynamique interne du mélange soit de la forme

$$F(m_1, m_2, V, T) = (m_1 + m_2) R \Sigma \log \frac{V}{m_1 + m_2} + X(m_1, m_2, T),$$

Σ étant le volume spécifique du mélange dans les conditions normales de température et de pression, et X une fonction dont la forme dépend de la nature des deux gaz G_1, G_2.

La première proposition, la loi du mélange des gaz, donne

$$\Sigma = \frac{m_1 \sigma_1 + m_2 \sigma_2}{m_1 + m_2}.$$

Posons

$$\begin{aligned} J(m_1, m_2, T) = {} & X(m_1, m_2, T) \\ & + RT\left(m_1 \sigma_1 \log \frac{m_1 + m_2}{m_1} + m_2 \sigma_2 \log \frac{m_1 + m_2}{m_2}\right), \end{aligned}$$

et nous pourrons écrire

$$(9) \quad \left\{ \begin{aligned} F(m_1, m_2, V, T) = {} & - m_1 R \sigma_1 T \log \frac{V}{m_1} \\ & - m_2 R \sigma_2 T \log \frac{V}{m_2} + J(m_1, m_2, T). \end{aligned} \right.$$

Cette forme entraîne, on s'en assure aisément, les deux premières propositions considérées; on ne peut donc faire usage de ces deux propositions pour pousser plus avant la détermination du potentiel thermodynamique interne du mélange.

La quatrième proposition exige que l'énergie interne du mélange, à la température T, soit la somme des énergies internes des gaz mélangés, à la même température. Cette condition, jointe à l'égalité (9), équivaut à celle-ci

$$\begin{aligned} & J(m_1, m_2, T) - T \frac{\partial J(m_1, m_2, T)}{\partial T} \\ & = m_1 \left[\chi_1(T) - T \frac{d\chi_1(T)}{dT}\right] + m_2 \left[\chi_2(T) - T \frac{d\chi_2(T)}{dT}\right]. \end{aligned}$$

Posons

$$H(m_1, m_2, T) = J(m_1, m_2, T) - m_1\chi_1(T) - m_2\chi_2(T).$$

Nous aurons

$$H(m_1, m_2, T) - T\frac{\partial H(m_1, m_2, T)}{\partial T} = 0,$$

relation qui, intégrée, donne

$$H(m_1, m_2, T) = \varphi(m_1, m_2)T,$$

ou bien

$$J(m_1, m_2, T) = m_1\chi_1(T) + m_2\chi_2(T) + \varphi(m_1, m_2)T.$$

L'égalité (9) devient donc

$$(10)\quad \left\{\begin{aligned} F(m_1, m_2, V, T) = \quad & m_1\left[\chi_1(T) - R\sigma_1 T\log\frac{V}{m_1}\right] \\ & + m_2\left[\chi_2(T) - R\sigma_2 T\log\frac{V}{m_2}\right] + \varphi(m_1, m_2)T. \end{aligned}\right.$$

Elle renferme une fonction indéterminée $\varphi(m_1, m_2)$ des masses qui composent le mélange

Reste la troisième proposition. Celle-ci exige que le travail non compensé effectué par la diffusion de gaz qui occupaient séparément les volumes V_1, V_2, ..., et qui finissent par former un mélange homogène dans le volume $(V_1 + V_2 + \ldots)$, soit positif. Ce travail non compensé, calculé au moyen de l'égalité (10), a pour valeur

$$\tau = RT\left[m_1\sigma_1\log\frac{V_1 + V_2 + \ldots}{V_1} + m_2\sigma_2\log\frac{V_1 + V_2 + \ldots}{V_2} + \ldots\right]$$
$$- \varphi(m_1, m_2, \ldots)T.$$

La condition imposée à ce travail d'être constamment positif ne suffit pas à déterminer la fonction $\varphi(m_1, m_2, \ldots)$. Il suffit, en effet, que cette fonction soit constamment négative pour que la condition dont il s'agit soit vérifiée.

Les quatre propositions qui sont imposées d'avance à toute définition du mot mélange de gaz parfaits ne suffisent donc pas à fixer cette définition; elles laissent dans l'expression du

potentiel thermodynamique interne un terme de la forme

$$\varphi(m_1, m_2)T,$$

où $\varphi(m_1, m_2)$ est une fonction quelconque de m_1 et m_2.

De l'égalité (10), on déduit

$$U(m_1, m_2, T) = m_1 \Upsilon_1(T) + m_2 \Upsilon_2(T),$$
$$S(m_1, m_2, V, T) = m_1 \Sigma_1(V, T) + m_2 \Sigma_2(V, T) - \varphi(m_1, m_2).$$

Ainsi, en vertu des propositions dont il s'agit, l'énergie interne du mélange est la somme des énergies internes des gaz mélangés; mais l'entropie du mélange n'est pas forcément égale à la somme des entropies des gaz mélangés, chacun d'eux étant pris sous le même volume et à la même température; elle en diffère par une fonction indéterminée de la composition du système.

Nous verrons plus tard que, si l'on joignait aux quatre propositions en question la loi du mélange des gaz et des vapeurs, on aurait un ensemble de lois fixant complètement la définition qu'il convient d'attribuer au mot mélange de gaz parfaits.

§ II. — Historique et critique.

L'histoire des tentatives qui ont abouti à la définition d'un mélange de gaz parfaits est, pour ainsi dire, l'histoire même de la dissociation des systèmes qui renferment des gaz parfaits.

L'idée, généralement admise, que le mélange de deux gaz parfaits effectué dans un espace clos ne mettait en jeu aucune quantité de chaleur, entraînait cette conséquence : *l'énergie interne d'un mélange de gaz parfaits est la somme des énergies internes qu'auraient, à la même température, les gaz mélangés.*

G. Kirchhoff [1], en étudiant les propriétés du mélange formé par un gaz et la vapeur d'eau, dit : « Imaginons, en effet, le mélange effectué de la manière suivante : Amenons isolément le gaz et la vapeur d'eau à la pression que doit exercer le mélange; mettons-les alors en contact et laissons-les se diffuser l'un dans l'autre;

---

[1] G. Kirchhoff, *Ueber einen Satz der mechanischen Wärmetheorie und einige Anwendungen desselben* (*Poggendorff's Annalen*, Bd. CIII, 1858. — *G. Kirchhoff's Werke*, p. 464).

si cette diffusion a lieu à température constante, elle n'entraîne ni travail extérieur, ni dégagement de chaleur; elle n'entraîne donc aucune variation de la capacité calorifique. »

Cette proposition équivaut, nous l'avons vu, à la proposition relative à l'énergie interne d'un mélange gazeux. Aussi G. Kirchhoff applique-t-il immédiatement cette dernière sans l'énoncer explicitement.

Plus tard, M. Carl Neumann (1) énonce explicitement cette proposition et en attribue la priorité à G. Kirchhoff.

La proposition qui définit l'entropie d'un mélange de gaz parfaits ne résultant pas immédiatement des lois ordinairement admises pour les mélanges de gaz, mais constituant une proposition essentiellement nouvelle, fut découverte plus tard. M. Hortsmann (2) a énoncé cette loi, sinon pour l'entropie d'un mélange gazeux, du moins pour une fonction intimement liée à celle-là, mais qu'on ne peut définir sans faire intervenir certaines hypothèses de Clausius, la *disgrégation*.

« Dans un mélange de gaz, dit-il (3), les disgrégations s'ajoutent simplement comme les pressions partielles des trois gaz. »

En 1875, Lord Rayleigh (4) énonce une proposition équivalente à celle-là.

Enfin, en 1876, M. J.-Willard Gibbs (5), dans son célèbre *Mémoire sur l'équilibre des substances hétérogènes,* donne, d'un mélange de gaz parfaits, la définition que nous avons exposée au paragraphe précédent; il développe les diverses conséquences de cette définition et démontre qu'elle est équivalente à celle qui consiste à prendre pour énergie et pour entropie d'un mélange

(1) CARL NEUMANN, *Vorlesungen über die mechanische Theorie der Wärme,* p. 166. Leipzig, 1875.

(2) A. HORTSMANN, *Theorie der Dissociation* (*Liebig's Annalen,* t. CLXX, p. 193; 1873).

(3) A. HORTSMANN, *Theorie der Dissociation* (*Liebig's Annalen,* t. CLXX, p. 201; 1873).

(4) Lord RAYLEIGH, *On the Work that may be gained during the Mixing of Gases* (*Philosophical Magazine,* 4e série, t. XLIX, p. 311; 1875).

(5) J.-W. GIBBS, *On equilibrium of heterogeneous substances* (*Transactions of Connecticut Academy,* vol. III, p. 210-248). Cette partie du volume porte les dates avril-mai 1876.

gazeux la somme des énergies et la somme des entropies de ces différents gaz pris isolément, à la même température et sous le même volume.

A partir de ce moment, tous les physiciens adoptent, sur les mélanges de gaz parfaits, la manière de voir de M. Gibbs.

M. G. Lemoine (1), en exposant la théorie de la dissociation de M. Gibbs, donne des mélanges gazeux la seconde des deux définitions dont nous venons de parler, celle qui détermine l'énergie et l'entropie du mélange. C'est au contraire la première qu'adopte M. Max Planck (2) dans un remarquable Mémoire; dans ce Mémoire, il retrouve une partie des résultats obtenus dans le livre de M. Gibbs dont les extraits seuls lui étaient parvenus.

Dans une Thèse présentée en 1884 à la Faculté des Sciences de Paris, nous avons également accepté comme propriétés fondamentales d'un mélange gazeux les deux propositions qui définissent l'énergie interne et l'entropie de ce mélange au moyen des énergies internes et des entropies des gaz mélangés. Ces propositions, jointes à l'axiome de Clausius que, pour tout cycle fermé non réversible, l'intégrale

$$\int \frac{dQ}{T},$$

où dQ représente la quantité de chaleur dégagée dans une modification élémentaire, est positive, amenèrent, sans plus ample examen, le rejet de notre Mémoire, qui a été imprimé depuis (3).

Les objections que l'auteur de ce refus, M. G. Lippmann, avait sans doute à formuler contre la définition des mélanges gazeux donnée par M. J.-Willard Gibbs n'ayant pas été publiées, comme l'exigeaient les règles de la discussion scientifique, il nous est loisible, je pense, de n'en tenir aucun compte et de regarder l'avis des physiciens comme unanimement favorable à cette définition.

Dans un récent et très important écrit, dont une bonne partie

---

(1) G. Lemoine, *Étude sur les équilibres chimiques* (extrait de l'*Encyclopédie chimique* de Fremy), p. 312. Paris, 1881.

(2) Max Planck, *Ueber das thermodynamische Gleichgewicht von Gasgemengen* (*Wiedemann's Annalen*, Bd. XIX, p. 358; 1883).

(3) P. Duhem, *Le potentiel thermodynamique et ses applications*. Paris, 1886.

est consacrée à l'étude de cette définition, M. Carl Neumann [1] signale une conséquence paradoxale de cette définition [2]. Ce paradoxe, qui a sans doute frappé l'esprit de tous ceux qu'ont préoccupés ces questions et qui, en particulier, a été examiné par M. J.-W. Gibbs [3], est le suivant :

Si l'on applique les formules relatives au mélange de deux gaz au cas où les deux gaz sont identiques, on peut être conduit à des résultats absurdes.

Par exemple, prenons deux gaz, de masses m_1 et m_2, contenus respectivement dans des volumes V_1 et V_2. Supposons qu'on mette ces volumes en communication et que les deux gaz se mélangent. Le potentiel thermodynamique interne du mélange aura pour valeur

$$-m_1 RT\sigma_1 \log\frac{V_1+V_2}{m_1} - m_2 RT\sigma_2 \log\frac{V_1+V_2}{m_2} + m_1\chi_1(T) + m_2\chi_2(T).$$

Essayons d'appliquer cette formule en supposant que les deux gaz G_1, G_2 soient identiques entre eux. Nous arriverons à ce résultat :

Si un gaz unique, de masse $M = m_1 + m_2$, est distribué dans un volume $V = V_1 + V_2$, son potentiel thermodynamique interne est exprimé par la formule

$$\mathcal{F} = RT\sigma\left[\log\left(\frac{m_1}{V}\right)^{m_1} + \log\left(\frac{m_2}{V}\right)^{m_2}\right] + m\chi(T).$$

Non seulement cette formule ne coïncide pas avec l'expression du potentiel thermodynamique interne d'une masse M du gaz G contenue sous le volume V, expression qui est

$$\mathcal{F} = MRT\sigma \log\frac{M}{V} + M\chi(T),$$

mais en outre elle est absurde *en soi*, car elle fait dépendre le po-

---

(1) C. Neumann, *Bemerkungen zur mechanischen Theorie der Wärme* (*Berichte der math.-phys. Classe der K. Sächs. Geselsschaft der Wissenschaften*, p. 75; 1891).

(2) *Loc. cit.*, p. 129.

(3) J.-W. Gibbs, *On the equilibrium, etc.*, p. 228.

tentiel thermodynamique interne du gaz de la manière tout arbitraire dont la masse M est supposée décomposée en deux masses m_1, m_2.

Selon M. Carl Neumann, les considérations développées par M. Gibbs au sujet de ce paradoxe ne suffisent pas à en dissiper l'obscurité. Il nous semble, cependant, que l'on peut donner à ces considérations une précision tout à fait satisfaisante.

L'objection faite à la définition, donnée par M. Gibbs, d'un mélange de gaz parfaits peut, en effet, se résumer ainsi :

La notion de mélange de deux gaz *quelconques* implique nécessairement la notion de mélange de deux masses de gaz *de même nature ;* en sorte que toute proposition vraie pour un mélange de deux gaz quelconque doit demeurer vraie pour un mélange de deux masses de gaz de même nature.

Or, la définition, donnée par M. J.-W. Gibbs, d'un mélange de deux gaz quelconques conduit à des résultats absurdes lorsqu'on l'applique au mélange de deux masses du même gaz.

Donc la définition de M. Gibbs est inacceptable.

La majeure de ce syllogisme doit être niée. La notion de mélange de deux gaz différents quelconques ne peut, en aucun cas, être regardée comme impliquant la notion de mélange de deux gaz de même nature.

En effet, deux gaz différents *quelconques* étant pris sous la même pression, à la même température, et étant mis en contact, ne seront pas en équilibre ; ils se diffuseront l'un dans l'autre ; quelque définition que l'on veuille adopter du mélange des gaz, elle devra conduire à cette conséquence, *quels que soient les deux gaz mis en contact.* Cette définition ne pourra donc *jamais* s'appliquer au mélange de deux masses du *même gaz,* car, dans les conditions que nous venons d'indiquer, ces deux masses, mises en contact, sont en équilibre.

Donc toute définition acceptable d'un mélange de deux gaz quelconques doit, a priori, *conduire à des résultats absurdes si l'on veut l'appliquer au mélange de deux masses du même gaz.* Nous ne devons pas nous étonner que la définition de M. Gibbs soit soumise à cette loi.

Le paradoxe que nous venons d'examiner est, nous l'avons dit, la seule critique sérieuse qui ait été soulevée contre la définition

d'un mélange de gaz parfaits ; nous pensons avoir montré nettement que cette critique n'est pas fondée ; mais, du moins, a-t-elle l'avantage de nous prémunir contre une erreur dans laquelle on tomberait aisément en appliquant cette définition.

Après avoir parlé des critiques soulevées par cette définition, arrivons aux essais destinés à la justifier.

M. Gibbs ne l'a pas, comme nous, donnée d'emblée en vertu de ce principe que les définitions de mot sont arbitraires et que, le mot *mélange de gaz* n'ayant pas été défini auparavant, nous étions libres de lui attribuer le sens qu'il nous plairait. Il l'a donnée comme conséquence d'une autre proposition, qui lui est analytiquement équivalente, mais qui, obtenue en généralisant la loi du mélange des gaz et des vapeurs, présente peut-être un sens physique plus concret. Nous pensons que la discussion de cette loi de M. Gibbs semblerait ici quelque peu obscure ; nous y reviendrons au Chapitre VI, en traitant de la loi du mélange des gaz et des vapeurs.

Dans notre Livre sur le potentiel thermodynamique, nous avons montré, par une méthode différente seulement en apparence de celle qui a été suivie au § I, jusqu'à quel point les caractères admis par tout le monde comme devant appartenir à un mélange de gaz déterminaient la définition de ce mélange.

Et d'abord, que ces quatre caractères soient attribués par les physiciens et les chimistes au mot mélange de gaz parfaits, avant même que ce mot ait reçu aucune définition précise, c'est ce qu'il nous semble difficile de nier.

Le premier de ces caractères n'est autre que la loi à laquelle on donne, dans tous les traités élémentaires, le nom de *loi du mélange des gaz*.

Le second, à savoir qu'un mélange de gaz parfaits, de composition donnée, doit se comporter comme un gaz parfait unique, est assurément admis par tout le monde ; car, dans tous les traités de Chimie, on enseigne que l'air est un mélange d'oxygène et d'azote ; et, dans tous les traités de Physique, quand on étudie les gaz voisins de l'état parfait, on ne manque jamais de mettre l'air au premier rang parmi ces gaz.

Le troisième caractère, la possibilité de la diffusion de deux gaz différents l'un dans l'autre, est aussi universellement admis.

Reste le quatrième caractère : à savoir que cette diffusion opérée en vase clos, à température constante, ne doit mettre en jeu aucune quantité de chaleur.

Que ce caractère soit généralement regardé comme une propriété fondamentale des mélanges de gaz, cela nous semble résulter de ce que la plupart des chimistes, pour démontrer que l'air est un mélange d'oxygène et d'azote, invoquent ce fait que la synthèse de l'air par le mélange des deux gaz composants a lieu sans dégagement de chaleur. J'ignore si ce fait a jamais été établi par l'expérience. Mais qu'il l'ait été ou non, ce raisonnement des chimistes n'en marque pas moins la liaison qui existe dans leur esprit entre la notion de mélange de gaz parfaits et l'absence de dégagement de chaleur durant une diffusion isothermique accomplie en vase clos.

M. Troost et Ad. Wurtz soutenant, le premier, que la vapeur d'eau à 100° et la vapeur de chloral se mélangent sans se combiner ; le second, que ces vapeurs, en se mélangeant, subissent une combinaison partielle, cherchent à établir, le premier, que la diffusion de ces deux gaz l'un dans l'autre n'entraîne aucun phénomène thermique ; le second, que cette diffusion dégage de la chaleur ; tant l'absence de phénomène thermique est intimement liée dans leur esprit à la notion de mélange de gaz parfaits !

Enfin nous avons cité plus haut (p. 50) une phrase où G. Kirchhoff invoque ce même caractère.

Ainsi, dans l'esprit de l'immense majorité des physiciens, la notion de mélange de gaz parfaits est liée, avant toute définition précise, aux quatre caractères que nous avons énumérés. Ces quatre caractères, nous l'avons vu, ne suffisent pas à fixer la définition d'un mélange de gaz parfaits ; ils déterminent l'énergie interne du mélange ; mais ils ne déterminent l'entropie du mélange qu'à une fonction près de la composition de ce mélange.

Poser cette fonction égale à 0, c'est essentiellement faire une hypothèse ; c'est par cette condition nouvelle que la définition du mélange des gaz donnée par M. Gibbs diffère de la notion incomplète acceptée jusque-là par tous les physiciens. Quelques analystes ont cherché à *justifier* cette hypothèse ; tel M. Poincaré dans des leçons professées à la Faculté des Sciences de Paris et

non encore publiées [1]; tel aussi M. Carl Neumann [2] dans le remarquable écrit qu'il a récemment publié. Mais cette justification ne peut évidemment consister qu'à remplacer cette hypothèse par une autre hypothèse équivalente. C'est ainsi que les deux démonstrations données par M. Carl Neumann, démonstrations que nous ne pouvons examiner ici en détail, reposent, en dernière analyse, sur l'hypothèse suivante, déjà énoncée par Lord Rayleigh [3].

Le travail non compensé effectué lorsqu'une masse m_1 *du gaz* G_1 *occupant le volume* V_1 *et une masse* m_2 *du gaz* G_2 *occupant le volume* V_2 *se diffusent l'une dans l'autre, de manière à remplir le volume* $(V_1 + V_2)$ *d'un mélange homogène, est la somme :*

1° *Du travail non compensé qu'effectuerait la masse* m_1 *du gaz* G_1 *en se détendant seule du volume* V_1 *au volume* $(V_1 + V_2)$;

2° *Du travail non compensé qu'effectuerait la masse* m_2 *du gaz* G_2 *en se détendant seule du volume* V_2 *au volume* $(V_1 + V_2)$.

Pendant toutes ces modifications, les diverses masses gazeuses sont maintenues à température constante.

Nous pensons que les discussions dans lesquelles nous venons d'entrer rendront tout à fait clair le sens qu'il convient d'attribuer aux propositions qui définissent un mélange de gaz parfaits. Ce serait ici le lieu d'appliquer cette définition à l'étude de la diffusion des gaz et de l'action des forces extérieures sur un mélange de gaz; mais nous préférons renvoyer l'étude de ces problèmes par-

---

(1) Ces Leçons ont été publiées depuis la rédaction du présent Mémoire (H. Poincaré, *Thermodynamique*. Paris, 1892). Dans ces Leçons, M. Poincaré propose de justifier notre définition des mélanges de gaz parfaits par une méthode qui est, au fond, identique à celle qu'avait suivie M. Gibbs. M. Poincaré pense que sa manière de voir sur cette question est en désaccord avec la nôtre; je crois que la lecture du présent Mémoire montrera, au contraire, que nos idées s'accordent pleinement avec celles de l'illustre analyste.

(2) Carl Neumann, *Bemerkungen zur mechanischen Theorie der Wärme* (*Berichte der math.-phys. Classe der K. Sächs. Gesellschaft der Wissenschaften*, p. 75; 1891).

(3) Lord Rayleigh, *On the Work that may be gained during the Mixing of Gases* (*Philosophical Magazine*, 4e série, t. XLIX, p. 512; 1875).

ticuliers à un Mémoire ultérieur, où nous traiterons, en général, des dissolutions et mélanges. Nous allons maintenant appliquer à l'étude des changements d'état les principes posés dans ces deux premiers Chapitres.

CHAPITRE III.

DISSOCIATION AU SEIN DES SYSTÈMES HOMOGÈNES GAZEUX.

§ I. — Combinaisons formées sans condensation.

Considérons un mélange de gaz parfaits, au nombre de quatre, dont les masses soient

$$m_1, \quad m_2, \quad m_3, \quad \mu.$$

Nous supposerons que la masse μ du gaz γ soit invariable, tandis que les masses m_1, m_2, m_3 des gaz G_1, G_2, G_3 peuvent varier en vertu des relations

$$(1) \qquad \frac{\delta m_1}{n_1 \varpi_1} = \frac{\delta m_2}{n_2 \varpi_2} = \frac{-\delta m_3}{n_1 \varpi_1 + n_2 \varpi_2},$$

ϖ_1 et ϖ_2 étant les poids moléculaires des gaz G_1 et G_2. Nous dirons alors qu'un nombre n_1 de molécules du gaz G_1 peut se combiner avec un nombre n_2 de molécules du gaz G_2 pour former le gaz G_3, tandis que le gaz γ est étranger à la réaction.

Le potentiel thermodynamique interne du mélange aura pour valeur, d'après les principes posés au Chapitre précédent,

$$(2) \qquad \left\{ \begin{aligned} F = \; & m_1 \left[\chi_1(T) + R\sigma_1 T \log \frac{m_1}{V} \right] \\ & + m_2 \left[\chi_2(T) + R\sigma_2 T \log \frac{m_2}{V} \right] \\ & + m_3 \left[\chi_3(T) + R\sigma_3 T \log \frac{m_3}{V} \right] \\ & + \mu \left[x(T) + R\, s\, T \log \frac{\mu}{V} \right]. \end{aligned} \right.$$

A cette expression, joignons celle de l'énergie interne du mélange, donnée par la formule

$$EU = F - T \frac{\partial F}{\partial T},$$

ou bien

$$(3)\quad \left\{\begin{aligned} EU = \; & m_1\left[\chi_1(T) - T\frac{d\chi_1(T)}{dT}\right] \\ & + m_2\left[\chi_2(T) - T\frac{d\chi_2(T)}{dT}\right] \\ & + m_3\left[\chi_3(T) - T\frac{d\chi_3(T)}{dT}\right] \\ & + \mu\left[x(T) - T\frac{dx(T)}{dT}\right]. \end{aligned}\right.$$

Si le système subit une variation isothermique quelconque, les quantités F et U subiront les variations suivantes :

$$(4)\quad \left\{\begin{aligned} \delta F = \; & \left[\chi_1(T) + RT\sigma_1\left(1 + \log\frac{m_1}{V}\right)\right]\delta m_1 \\ & + \left[\chi_2(T) + RT\sigma_2\left(1 + \log\frac{m_2}{V}\right)\right]\delta m_2 \\ & + \left[\chi_3(T) + RT\sigma_3\left(1 + \log\frac{m_3}{V}\right)\right]\delta m_3 \\ & + \left[x(T) + RT\,s\left(1 + \log\frac{\mu}{V}\right)\right]\delta\mu \\ & - \frac{RT}{V}(\sigma_1 m_1 + \sigma_2 m_2 + \sigma_3 m_3 + s\mu)\,\delta V, \end{aligned}\right.$$

$$(5)\quad \left\{\begin{aligned} E\,\delta U = \; & \left[\chi_1(T) - T\frac{d\chi_1(T)}{dT}\right]\delta m_1 \\ & + \left[\chi_2(T) - T\frac{d\chi_2(T)}{dT}\right]\delta m_2 \\ & + \left[\chi_3(T) - T\frac{d\chi_3(T)}{dT}\right]\delta m_3 \\ & + \left[x(T) - T\frac{dx(T)}{dT}\right]\delta\mu. \end{aligned}\right.$$

Si l'on tient compte des égalités (1) et de ce fait que la masse μ est constante, on peut donner aux égalités (4) et (5) la forme suivante :

$$(6)\quad \left\{\begin{aligned} \delta F = \Big\{ & (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\left[\chi_3(T) + RT\sigma_3\left(1 + \log\frac{m_3}{V}\right)\right] \\ & - n_1\varpi_1\left[\chi_1(T) + RT\sigma_1\left(1 + \log\frac{m_1}{V}\right)\right] \\ & - n_2\varpi_2\left[\chi_2(T) + RT\sigma_2\left(1 + \log\frac{m_2}{V}\right)\right]\Big\}\frac{\delta m_3}{n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2} \\ & + \frac{RT}{V}(\sigma_1 m_1 + \sigma_2 m_2 + \sigma_3 m_3 + s\mu)\,\delta V \end{aligned}\right.$$

et

$$(7)\quad \left\{\begin{aligned} E\delta U = \Big\{ & (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\left[\chi_3(T) - T\frac{d\chi_3(T)}{dT}\right] \\ & - n_1\varpi_1\left[\chi_1(T) - T\frac{d\chi_1(T)}{dT}\right] \\ & - n_2\varpi_2\left[\chi_2(T) - T\frac{d\chi_2(T)}{dT}\right]\Big\}\frac{\delta m_3}{n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2}. \end{aligned}\right.$$

Ces égalités (6) et (7) sont le fondement de toute la théorie de la dissociation des composés gazeux. Nous allons en tirer les conséquences en examinant tout d'abord les *composés formés sans condensation.*

1. Condition d'équilibre. — Pour qu'un système soit en équilibre, il faut que toute modification isothermique virtuelle, qui n'entraîne aucune variation de volume, entraîne une variation nulle du potentiel thermodynamique interne du système. Cette condition, appliquée au système que nous étudions, se traduit par l'égalité suivante

$$\begin{aligned} & (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\left[\chi_3(T) + RT\sigma_3\left(1 + \log\frac{m_3}{V}\right)\right] \\ & - n_1\varpi_1\left[\chi_1(T) + RT\sigma_1\left(1 + \log\frac{m_1}{V}\right)\right] \\ & - n_2\varpi_2\left[\chi_2(T) + RT\sigma_2\left(1 + \log\frac{m_2}{V}\right)\right] = 0. \end{aligned}$$

Supposons que la combinaison ait lieu sans condensation; nous aurons

$$n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2 = (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\sigma_3$$

et l'égalité précédente deviendra

$$(8)\quad \left\{\begin{aligned} & n_1\varpi_1\log\frac{m_3}{m_1} + n_2\varpi_2\log\frac{m_3}{m_2} \\ & n_1\varpi_1\frac{\chi_1(T) - \chi_3(T)}{RT} + n_2\varpi_2\frac{\chi_2(T) - \chi_3(T)}{RT} = 0. \end{aligned}\right.$$

Nous poserons, pour abréger les écritures,

$$(8\,bis)\quad \varphi(T) = \frac{n_1\varpi_1[\chi_1(T) - \chi_3(T)] + n_2\varpi_2[\chi_2(T) - \chi_3(T)]}{RT}$$

et l'égalité (8) deviendra

$$(8\ ter)\qquad \sigma_1 n_1 \varpi_1 \log \frac{m_3}{m_1} + \sigma_2 n_2 \varpi_1 \log \frac{m_3}{m_2} = \varphi(T).$$

Discutons les conséquences de cette égalité.

Je dis d'abord que, *si cette égalité est vérifiée, le système est en état d'équilibre stable.*

Supposons en effet que le système renferme une quantité du gaz composé G_3 un peu inférieure à celle qui y existe au moment où cette égalité (8 *ter*) est vérifiée; m_3 aura une valeur un peu inférieure à celle qui vérifie cette égalité (8 *ter*), tandis que m_1, m_2 auront des valeurs un peu supérieures à celles qui conviendraient à cette égalité. Dans ce cas, la quantité δF sera de signe contraire à δm_3; le gaz G_3 pourra prendre naissance dans le système aux dépens des gaz G_1 et G_2, mais il ne pourra se décomposer. Si, au contraire, le système renfermait une quantité de gaz G_3 un peu supérieure à celle qui y existe au moment où l'égalité (8 *ter*) est vérifiée, δF serait de même signe que δm_3; le gaz G_3 pourrait se dissocier, mais il ne pourrait se former aux dépens des deux gaz G_1, G_2. L'égalité (8 *ter*) définit donc la composition stable du gaz mixte maintenu sous le volume constant V à la température T.

Grâce aux égalités (1), les variables m_1, m_2, m_3 qui figurent dans l'égalité (8 *ter*) ne sont pas absolument indépendantes. Si nous désignons par M_1 la masse totale du gaz G_1, libre ou combiné, par M_2 la masse totale du gaz G_2, libre ou combiné, nous aurons

$$(9)\qquad \begin{cases} m_1 + \dfrac{n_1 \varpi_1}{n_1 \varpi_1 + n_2 \varpi_2} m_3 = M_1, \\[2ex] m_2 + \dfrac{n_2 \varpi_2}{n_1 \varpi_1 + n_2 \varpi_2} m_3 = M_2. \end{cases}$$

L'ensemble des égalités (8 *ter*) définit, à chaque température T, les valeurs des variables m_1, m_2, m_3 qui correspondent à l'équilibre du système.

Un système sera complètement défini par la température T et par les valeurs des deux masses M_1, M_2.

Que l'on considère un semblable système; que l'on conçoive tout d'abord ce système comme renfermant uniquement des gaz

G_1 et G_2 à l'état libre et point de gaz G_3; m_1 et m_2 ont alors pour valeurs M_1 et M_2, tandis que m_3 a pour valeur o; les deux quantités

$$\log \frac{m_3}{m_1}, \quad \log \frac{m_2}{m_1}$$

sont négatives et infiniment grandes en valeur absolue.

Au fur et à mesure que la masse m_3 de gaz G_3 contenue dans le système va en augmentant, les deux quantités m_1, m_2 vont en diminuant; le premier membre de l'égalité (8 *ter*) augmente d'une manière continue.

Au moment où le système renferme tout le gaz G_3 compatible avec sa constitution, l'une au moins des deux quantités m_1, m_2 est devenue égale à o; le premier membre de l'égalité (8 *ter*) est positif et infiniment grand.

Donc, lorsque la masse m_3 de gaz G_3 que le système renferme varie, en croissant sans cesse, depuis la valeur o jusqu'à la plus grande valeur qui soit compatible avec la constitution du système, le premier membre de l'égalité (8 *ter*) varie d'une manière continue, en croissant sans cesse, de $-\infty$ à $+\infty$. Il existe, par conséquent, une et une seule composition du système pour laquelle ce premier membre est égal à $\varphi(T)$.

Ainsi, *à une température déterminée, pour un système de composition élémentaire déterminée, il existe toujours un et un seul état d'équilibre. Il ne peut correspondre ni à une absence complète de combinaison, ni à une combinaison complète de l'un des deux gaz simples.*

Si, sans modifier la température, on multiplie les deux quantités M_1, M_2 par un même facteur positif λ, les valeurs des quantités m_1, m_2, m_3, déduites des égalités (8 *ter*) et (9), seront aussi multipliées par ce facteur λ. Ce résultat peut s'énoncer ainsi :

A une même température, dans des systèmes semblables, l'équilibre s'établit d'une manière semblable.

La masse μ du gaz inerte ne figure pas dans les équations d'équilibre; donc :

La présence d'un gaz inerte n'influe pas sur la composition du système au moment de l'équilibre.

Les égalités (8 *ter*) et (9) sont totalement indépendantes du volume V occupé par le système ou, ce qui revient au même, de la pression supportée par le système. *L'état d'équilibre du système est donc indépendant, dans le cas de combinaisons formées sans condensation, de la pression supportée par le système.*

Étudions maintenant comment varie l'état d'équilibre du système, si l'on fait varier la composition élémentaire $\frac{M_2}{M_1}$ de ce système.

Soit un premier système renfermant une masse totale M_1 de gaz G_1, libre ou combiné, et une masse totale M_2 de gaz G_2, libre ou combiné. Au moment de l'équilibre, il renferme des masses m_1, m, m_3 des gaz G_1, G_2, G_3, et l'on a

$$\sigma_1 n_1 \varpi_1 \log \frac{m_3}{m_1} + \sigma_2 n_2 \varpi_2 \log \frac{m_3}{m_2} = \varphi(T).$$

Soit un second système renfermant la même masse totale M_1 de gaz G_1, mais une masse totale M'_2, supérieure à M_2, de gaz G_2. Au moment où ce système renferme la masse m_3 de gaz G_3, il renferme la même masse m_1 de gaz G_1 que le système précédent; mais il renferme une masse m'_2, supérieure à m_2, de gaz G_2; en sorte que l'on a, à ce moment,

$$\sigma_1 n_1 \varpi_1 \log \frac{m_3}{m_1} + \sigma_2 n_2 \varpi_2 \log \frac{m_3}{m'_2} < \varphi(T).$$

Si l'on se reporte à l'expression de δF, on voit qu'au moment où le système renferme des masses m_1, m'_2, m_3 des gaz G_1, G_2, G_3, δF est de signe contraire à δm_3; dans ces conditions, le gaz G_3 peut encore se former aux dépens des gaz G_1, G_2; il ne peut se dissocier.

Par conséquent, *si deux systèmes renferment la même masse totale (libre ou combinée) de l'un des deux gaz composants, et une masse totale différente de l'autre gaz composant, celui qui renferme une plus grande proportion de ce dernier composant renfermera, au moment de l'équilibre, une masse plus considérable du composé.*

En général, dans les combinaisons formées sans condensation, les gaz qui se combinent à volumes égaux suivent la loi d'Avo-

gadro. On peut alors poser

$$n_1 = n_2 = \frac{1}{2},$$

$$\varpi_1 \sigma_1 = \varpi_2 \sigma_2$$

et la condition d'équilibre (8 *ter*) prend alors la forme très simple et très remarquable

$$(10). \qquad \frac{\varpi_1 \sigma_1}{2} \log \frac{m_3^2}{m_1 m_2} = \varphi(T).$$

A une température déterminée, la quantité $\frac{m_3^2}{m_1 m_2}$ *a une valeur indépendante de la constitution du système et de la pression à laquelle il est soumis.*

2. Chaleur de combinaison. — Il nous reste à étudier l'influence que la température exerce sur l'état d'équilibre du système ; cette étude suppose l'étude préalable de la chaleur de formation du composé étudié.

Si une masse dm_3 du composé se forme à température constante, sous volume constant, il se dégage une quantité de chaleur

$$dQ = L\, dm_3.$$

L est ce qu'on nomme la *chaleur de formation du composé sous volume constant.*

La formation de la même masse de composé, à température constante, sous pression constante, dégage une quantité de chaleur $\lambda\, dm_3$; λ est ce qu'on nomme la *chaleur de formation du composé sous pression constante.*

Dans le cas où la combinaison se forme sans condensation, il suffit de maintenir constantes la pression et la température pour que le volume soit, par le fait même, maintenu constant. Donc, *pour une combinaison formée sans condensation, la chaleur de formation sous pression constante est identique à la chaleur de formation sous volume constant.*

Cette dernière est donnée par la formule

$$L\, dm_3 = -\, \delta U,$$

qui peut s'écrire, en vertu de l'égalité (7),

$$(11)\quad \left\{\begin{aligned} L = \frac{1}{E}\,\frac{1}{n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2}\Big\{&(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\left[T\frac{d\chi_3(T)}{dT} - \chi_3(T)\right] \\ &- n_1\varpi_1\left[T\frac{d\chi_1(T)}{dT} - \chi_1(T)\right] \\ &- n_2\varpi_2\left[T\frac{d\chi_2(T)}{dT} - \chi_2(T)\right]\Big\}. \end{aligned}\right.$$

Cette égalité nous montre que

La chaleur de formation du composé est indépendante :

1° *Des gaz inertes que le système peut renfermer ;*

2° *De la composition élémentaire du système et de l'état plus ou moins complet de dissociation au moment où s'effectue la combinaison ;*

3° *Du volume que le système occupe ou, ce qui revient au même, de la pression qu'il supporte.*

Elle dépend seulement de la température.

Comment dépend-elle de la température ?

L'égalité (11) nous donne

$$\begin{aligned}(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\frac{dL}{dT} = (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\frac{T}{E}\frac{d^2\chi_3(T)}{dT^2} \\ - n_1\varpi_1\frac{T}{E}\frac{d^2\chi_1(T)}{dT^2} - n_2\varpi_2\frac{T}{E}\frac{d^2\chi_2(T)}{dT^2}.\end{aligned}$$

Soient $c_1(T)$, $c_2(T)$, $c_3(T)$ les chaleurs spécifiques sous volume constant des trois gaz G_1, G_2, G_3, à la température T. En vertu des égalités (16) et (17) du Chapitre I, nous aurons

$$c_1(T) = -\frac{T}{E}\frac{d^2\chi_1(T)}{dT^2},$$

$$c_2(T) = -\frac{T}{E}\frac{d^2\chi_2(T)}{dT^2},$$

$$c_3(T) = -\frac{T}{E}\frac{d^2\chi_3(T)}{dT^2}$$

et l'égalité précédente deviendra

$$(12)\quad (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\frac{dL}{dT} = n_1\varpi_1 c_1(T) + n_2\varpi_2 c_2(T) - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)c_3(T).$$

Telle est la relation très simple qui existe entre la chaleur de formation du composé, la température et les chaleurs spécifiques sous volume constant du gaz composé et de ses éléments. Cette relation se conclurait immédiatement des principes généraux posés par G. Kirchhoff (¹) dès 1858.

Notre composé est formé à volumes égaux par deux gaz composants qui suivent la loi d'Avogadro. Il en est de même du composé. C'est le cas de toutes les combinaisons formées sans condensation. Dès lors, la loi d'Avogadro et la loi de Delaroche et Bérard donnent

$$n_1 = n_2 = \frac{1}{2},$$

$$\frac{\varpi_1}{2} c_1 = \frac{\varpi_2}{2} c_2 = \frac{\frac{1}{2}(\varpi_1 + \varpi_2)}{2} c_3$$

et l'égalité (12) devient alors

$$\frac{dL}{dT} = 0. \tag{13}$$

Donc, *quand un composé gazeux est formé à volumes égaux et sans condensation à partir de ses éléments gazeux, en vertu des lois d'Avogadro et de Delaroche et Bérard, la chaleur de formation est indépendante de la température ; c'est une constante.*

3. Influence de la température sur l'état d'équilibre. — Nous sommes maintenant en mesure d'étudier l'influence que les variations de température exercent sur la composition présentée par le système au moment de l'équilibre.

L'équilibre est régi par l'égalité

$$n_1 \varpi_1 \sigma_1 \log \frac{m_3}{m_1} + n_2 \varpi_2 \sigma_2 \log \frac{m_3}{m_2} = \varphi(T), \tag{8 ter}$$

dans laquelle on a

$$\varphi(T) = \frac{n_1 \varpi_1 \chi_1(T) + n_2 \varpi_2 \chi_2(T) - (n_1 \varpi_1 + n_2 \varpi_2)\chi_3(T)}{RT}. \tag{8 bis}$$

(¹) G. Kirchhoff, *Ueber einen Satz der mechanischen Wärmetheorie und einige Anwendungen desselben* (*Poggendorff's Annalen*, t. CIII; 1858).

De cette égalité, on déduit

$$\begin{aligned}\frac{d\varphi(T)}{dT} = \frac{1}{T^2}\Big\{&(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\left[\chi_3(T) - T\frac{d\chi_3(T)}{dT}\right]\\ &- n_1\varpi_1\left[\chi_1(T) - T\frac{d\chi_1(T)}{dT}\right]\\ &- n_2\varpi_2\left[\chi_2(T) - T\frac{d\chi_2(T)}{dT}\right]\Big\},\end{aligned}$$

ou bien, en vertu de l'égalité (11),

$$\frac{d\varphi(T)}{dT} = -(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\frac{E}{R}\frac{L}{T^2}. \tag{14}$$

Ainsi, à une température déterminée, $\varphi(T)$ croît avec la température si, à cette température, le composé est formé avec absorption de chaleur ; $\varphi(T)$ varie en sens contraire de la température si, à cette température, le composé est formé avec dégagement de chaleur.

Si l'on observe, d'autre part, que le premier membre de l'égalité (8 *ter*) croît avec m_3, on arrive sans peine à la conclusion suivante :

Si le composé est formé avec dégagement de chaleur, la masse de gaz composé, qu'un système de composition élémentaire déterminée renferme au moment de l'équilibre, est d'autant plus faible que la température est plus élevée. Si le composé est formé avec absorption de chaleur, un système de composition élémentaire déterminée renferme, au moment de l'équilibre, d'autant plus de gaz composé que la température est plus élevée.

Cet énoncé est obtenu sans avoir recours aux lois de Clausius, d'Avogadro et de Delaroche et Bérard ; du reste, on l'obtiendrait immédiatement comme corollaire des principes généraux qui régissent le déplacement de l'équilibre chimique avec la température [1].

---

[1] J.-H. VAN T'HOFF, *Études de Dynamique chimique*, p. 161. Amsterdam; 1884. — P. DUHEM, *Sur le déplacement de l'équilibre* (*Annales de la Faculté des Sciences de Toulouse*, t. IV, N; 1890).

La loi d'Avogadro et la loi de Delaroche et Bérard donnent

$$n_1 = n_2 = \frac{1}{2},$$

$$\varpi_1 \sigma_1 = \varpi_2 \sigma_2 = \frac{2\Sigma}{\cancel{2}},$$ Sur p. 25

Σ étant le volume spécifique de l'hydrogène, qui a pour poids atomique 1, dans les conditions normales de température et de pression. Ces égalités transforment l'égalité (8 *ter*) en

$$\log \frac{m_3^2}{m_1 m_2} = \frac{\varphi(T)}{\Sigma}.$$

D'ailleurs, d'après l'égalité (13), la chaleur de formation L est une constante ; l'égalité (14) donne alors

$$\varphi(T) = (n_1 \varpi_1 + n_2 \varpi_2) \frac{E}{R} \frac{L}{T} + C,$$

C étant une constante. Si nous posons

$$(15) \qquad \begin{cases} M = \dfrac{(n_1 \varpi_1 + n_2 \varpi_2) EL}{R\Sigma}, \\ N = \dfrac{C}{\Sigma}, \end{cases}$$

la condition d'équilibre (8 *ter*) prendra la forme

$$(16) \qquad \log \frac{m_3^2}{m_1 m_2} = \frac{M}{T} + N.$$

La constante M a le signe de L.

Si L est positif, la fonction $\left(\frac{M}{T} + N\right)$ part de $+\infty$ pour $T = 0$ et tend vers N, en décroissant sans cesse, lorsque T croît au delà de toute limite.

Si L est négatif, la fonction $\left(\frac{M}{T} + N\right)$ part de $-\infty$ pour $T = 0$ et tend vers N, en croissant sans cesse, lorsque T croît au delà de toute limite.

Faisons varier T depuis une valeur T_0, au-dessous de laquelle les gaz ne peuvent, avec une approximation suffisante, être re-

gardés comme parfaits, jusqu'à $+\infty$. Nous obtiendrons sans peine les résultats suivants :

1° *Le composé est formé avec dégagement de chaleur. Aux températures voisines de* T_0, *la combinaison est d'autant plus voisine d'être intégrale que la température* T_0 *est plus basse. Au fur et à mesure que la température s'élève, la fraction du composé qui n'est pas dissociée devient de plus en plus faible; lorsque la température croît au delà de toute limite, l'état du système tend vers un état limite qui ne correspond pas, en général, à une dissociation intégrale.*

2° *Le composé est formé avec absorption de chaleur. Aux températures voisines de* T_0, *la dissociation est d'autant plus voisine d'être complète que la température* T_0 *est plus basse. Au fur et à mesure que la température s'élève, la masse gazeuse passée à l'état de combinaison est plus considérable; lorsque la température croît au delà de toute limite, l'état du système tend vers un état limite qui ne correspond pas, en général, à une combinaison intégrale.*

4. Vérifications expérimentales. Dissociation de l'acide iodhydrique. — Il n'y a qu'une seule combinaison gazeuse formée sans condensation à partir de ses éléments dont la dissociation ait été étudiée avec assez de soin pour permettre le contrôle des propositions précédentes : c'est *l'acide iodhydrique*.

Il faut remarquer que la combinaison en question n'est une combinaison formée sans condensation qu'aux températures inférieures à 800°C., en prenant, pour la vapeur d'iode, la densité 8,8; on sait qu'au delà de cette température la densité de la vapeur d'iode diminue; c'est un phénomène sur lequel nous reviendrons plus tard; par suite de ce phénomène, au delà de 800°, l'acide iodhydrique est une combinaison formée avec condensation.

L'étude expérimentale de la dissociation de l'acide iodhydrique a été abordée tout d'abord par M. P. Hautefeuille [1]; elle a été

---

[1] P. Hautefeuille, *Comptes rendus*, t. LXIV, p. 608; 1867.

ensuite poursuivie avec beaucoup de soins par M. G. Lemoine (1).

Parmi les confirmations que les résultats de ces expériences apportent à la théorie, il y a lieu de distinguer deux espèces de vérifications bien distinctes, dont l'importance est inégale.

Tous les résultats que nous avons énoncés dans le présent Chapitre ont été démontrés en appliquant à l'hydrogène, à l'iode, à l'acide iodhydrique, les lois et les hypothèses relatives aux gaz parfaits et aux mélanges de gaz parfaits ; il n'en faut pas conclure que tous ces résultats supposent nécessairement les lois et les hypothèses en question. Il en est qui pourraient être déduits de l'application directe des principes généraux de la Thermodynamique, sans qu'il soit fait aucune hypothèse spéciale relative aux gaz ou aux mélanges de gaz.

Ainsi, le *principe du déplacement de l'équilibre chimique par la température,* principe énoncé, dans toute sa généralité, par M. J.-H. van t'Hoff (2) et qui est une conséquence des lois générales de la Thermodynamique (3), suffit à nous enseigner qu'une substance formée avec dégagement de chaleur se dissocie d'autant plus complètement que la température est plus élevée et que l'inverse a lieu pour une combinaison formée avec absorption de chaleur.

Le *principe du déplacement de l'équilibre chimique par la pression,* principe énoncé dans toute sa généralité par M. H. Le Chatelier (4) et qui est également une conséquence des lois générales de la Thermodynamique (5), nous démontre que, pour une combinaison formée sans condensation, l'état d'équilibre est indépendant de la pression supportée par le système.

---

(1) G. Lemoine, *Annales de Chimie et de Physique,* 5e série, t. XII, p. 145; 1877. — *Études sur les équilibres chimiques* (extrait de l'*Encyclopédie chimique* de Fremy), p. 72.

(2) J.-H. van t'Hoff, *Études de Dynamique chimique,* p. 161. Amsterdam. 1884.

(3) P. Duhem, *Sur le déplacement de l'équilibre* (*Annales de la Faculté des Sciences de Toulouse,* t. IV; 1891).

(4) H. Le Chatelier, *Sur un énoncé général de la loi des équilibres chimiques* (*Comptes rendus,* t. XCIX, p. 786; 1884).

(5) P. Duhem, *loc. cit.*

Il est, au contraire, des propositions, parmi celles que nous avons énoncées dans le présent paragraphe, dont la démonstration suppose essentiellement l'emploi des lois et des hypothèses relatives aux gaz parfaits, et, en particulier, l'emploi de la définition d'un mélange de gaz parfaits. Telle est cette proposition : Le rapport $\frac{m_3^2}{m_1 m_2}$ est une fonction de la température seule.

Lorsque nous comparerons les résultats de la théorie à l'expérience, il nous faudra avoir bien soin de distinguer ces deux ordres de résultats ; la vérification des premiers constitue seulement une nouvelle vérification des principes fondamentaux de la Thermodynamique ; la vérification des seconds constitue une confirmation de la théorie de M. Gibbs. La vérification des seconds aura donc pour nous un intérêt plus grand que la vérification des premiers.

Commençons par l'examen des résultats à l'établissement desquels suffisent les principes généraux de la Thermodynamique.

D'après les expériences de M. Lemoine, la quantité d'acide iodhydrique qui existe, au moment de l'équilibre, dans un système donné diminue lorsque la température s'élève. L'acide iodhydrique gazeux doit donc être formé à partir de ses éléments gazeux *en dégageant* de la chaleur. M. Berthelot admet aujourd'hui que l'hydrogène et l'iode, en se combinant à l'état gazeux, *absorbent* $0^{cal},8$. On voit que ce nombre, qui n'est pas le résultat d'expériences directes, mais qui a été obtenu en faisant la différence de diverses quantités de chaleur déterminées expérimentalement, doit être rejeté. Il contredit directement le principe de Carnot.

L'acide iodhydrique étant formé sans condensation, à une température donnée, la quantité d'acide iodhydrique qu'un système donné renferme au moment de l'équilibre doit être indépendante de la pression.

On peut définir la composition du système par le rapport $\frac{m_1}{M_1}$ du poids d'hydrogène libre que renferme le mélange au poids total de l'hydrogène, libre ou combiné, que le système renferme. Voici les valeurs de ce rapport qu'a obtenues M. Lemoine en chauffant sous différentes pressions, à la température d'ébullition du soufre, un mélange d'iode et d'hydrogène en proportions équivalentes :

Pression.	Rapport $\frac{m_1}{M_1}$.
atm 4,5	0,24
2,3	0,25
0,9	0,26
0,2	0,29

Dans cette série d'expériences, tandis que la pression a passé d'une valeur à une autre valeur vingt-deux fois plus faible, le rapport $\frac{m_1}{M_1}$ a varié seulement de $\frac{1}{5}$ de sa valeur. Si l'on tient compte de l'extrême difficulté des expériences, des nombreuses causes d'erreur qu'elles comportent, une telle concordance paraîtra suffisante.

Arrivons maintenant à la vérification des propositions qui découlent proprement de la théorie de M. Gibbs. De ce nombre est cette proposition :

A une température déterminée, le rapport $\frac{m_3^2}{m_1 m_2}$ *est constant.*

Cette proposition rend compte d'une manière suffisante de l'influence exercée sur la composition du système en équilibre par l'introduction d'un excès d'hydrogène.

Si l'on considère un système qui renferme $(1+\theta)$ équivalents d'hydrogène pour 1 équivalent d'iode ; si l'on désigne par r le rapport $\frac{m_1}{M_1}$ de la masse d'hydrogène libre qu'il renferme au moment de l'équilibre à la masse totale d'hydrogène, libre ou combiné, qu'il contient, ce rapport étant calculé par la formule précédente ; si l'on désigne par r' la valeur expérimentalement trouvée du même rapport, on a :

θ.	r.	r'.	Δ.
0	0,240	0,240	base du calcul
0,2755	0,342	0,350	— 0,008
0,898	0,518	0,547	— 0,029
2,876	0,750	0,774	— 0,024

§ II. — Combinaisons formées avec condensation.

1. Condition d'équilibre. — Considérons maintenant une combinaison formée avec condensation ; pour fixer les idées, nous supposerons encore cette combinaison formée par l'union de deux

gaz *simples,* dont ϖ_1, ϖ_2 seront les poids moléculaires. Les cas plus compliqués se traiteraient de la même manière.

La condition d'équilibre s'obtient toujours en écrivant que, dans une réaction isothermique sans changement de volume, on a

$$\delta F = 0,$$

ce qui, grâce à l'égalité (6), donne encore

$$\begin{aligned}(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)&\left[\chi_3(T) + RT\sigma_3\left(1 + \log\frac{m_3}{V}\right)\right]\\ - n_1\varpi_1&\left[\chi_1(T) + RT\sigma_1\left(1 + \log\frac{m_1}{V}\right)\right]\\ - n_2\varpi_2&\left[\chi_2(T) + RT\sigma_2\left(1 + \log\frac{m_2}{V}\right)\right] = 0.\end{aligned}$$

Cette relation ne se simplifie plus autant que dans le cas des combinaisons formées sans condensation.

Si l'on désigne par ψ la fraction de condensation, on aura

$$\frac{n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2 - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\sigma_3}{n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2} = \psi,$$

et la condition d'équilibre précédente deviendra

$$(17)\qquad \left\{\begin{aligned} &n_1\varpi_1\sigma_1 \log\frac{m_3^{1-\psi}}{m_1} + n_2\varpi_2\sigma_2 \log\frac{m_3^{1-\psi}}{m_2}\\ &\quad + (n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2)\log V\psi = \varphi(T),\end{aligned}\right.$$

ou encore

$$(17\,bis)\quad \log\left\{V^{[n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2 - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\sigma_3]}\,\frac{m_3^{(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\sigma_3}}{m_1^{n_1\varpi_1\sigma_1}\,m_2^{n_2\varpi_2\sigma_2}}\right\} = \varphi(T),$$

avec

$$(18)\qquad \left\{\begin{aligned}\varphi(T) &= \psi(n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2)\\ &\quad + \frac{n_1\varpi_1\chi_1(T) + n_2\varpi_2\chi_2(T) - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\chi_3(T)}{RT}.\end{aligned}\right.$$

Discutons les conséquences de ces égalités.

En raisonnant comme nous l'avons fait dans le cas des combi-

naisons formées sans condensation, nous établirons les propositions suivantes :

1° *L'égalité* (17), *jointe aux égalités*

$$(9)\qquad \begin{cases} m_1 + \dfrac{n_1\varpi_1}{n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2} m_3 = M_1, \\ m_2 + \dfrac{n_2\varpi_2}{n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2} m_3 = M_2, \end{cases}$$

définit un état d'équilibre stable;

2° *Si l'on se donne la température et le volume du système, il existe un et un seul état d'équilibre pour un système donné; cet état ne peut jamais correspondre ni à une dissociation complète, ni à une combinaison intégrale;*

3° *Si l'on se donne la température et le volume du système, l'état d'équilibre n'est pas modifié par l'introduction d'un gaz inerte;*

4° *Si deux systèmes, de même température et de même volume, renferment la même masse totale de l'un des gaz composants et une masse totale différente de l'autre composant, celui qui renferme une masse plus considérable de ce dernier composant renferme, au moment de l'équilibre, une masse plus considérable du composé.*

L'état d'équilibre n'est plus ici indépendant du volume occupé par le système. La quantité $\log V\Psi$ croît avec V. Il est, dès lors, facile de déduire de l'égalité (17) le résultat suivant :

A une température déterminée, dans un système déterminé, la masse du composé qui subsiste au moment de l'équilibre est d'autant plus faible que le volume occupé par le système est plus grand.

2. Chaleur de formation. — La chaleur de formation sous volume constant et la chaleur de formation sous pression constante sont définies comme dans le cas précédent. Mais, ici, ces deux quantités ne sont plus égales entre elles.

On a évidemment

$$(19)\qquad (\lambda - L)\, dm_3 = \frac{1}{E} d\mathfrak{T}_c,$$

$d\mathfrak{T}_e$ étant le travail effectué par la pression extérieure constante P lorsque la masse dm_3 du composé se forme, dans le système, à la température T.

Ce travail est égal à

$$-\mathrm{P}\,\delta\mathrm{V},$$

δV étant l'accroissement de volume qui accompagne cette modification.

Calculons cette quantité δV.

Soient p_1, p_2, p_3 les pressions partielles que les masses m_1, m_2, m_3 des trois gaz mélangés exercent, à la température T, dans le volume V.

La somme de ces trois pressions est constante et égale à la pression P

$$p_1 + p_2 + p_3 = \mathrm{P}. \tag{20}$$

Soit P_0 la pression normale; soit T_0 la température de la glace fondante; soient v_1, v_2, v_3 les volumes spécifiques des trois masses m_1, m_2, m_3 occupant le volume V. Nous aurons, d'une part,

$$v_1 = \frac{\mathrm{V}}{m_1}, \qquad v_2 = \frac{\mathrm{V}}{m_2}, \qquad v_3 = \frac{\mathrm{V}}{m_3},$$

et, d'autre part,

$$\frac{v_1}{\sigma_1} = \frac{\mathrm{T}}{\mathrm{T}_0}\,\frac{\mathrm{P}_0}{p_1}, \qquad \frac{v_2}{\sigma_2} = \frac{\mathrm{T}}{\mathrm{T}_0}\,\frac{\mathrm{P}_0}{p_2}, \qquad \frac{v_3}{\sigma_3} = \frac{\mathrm{T}}{\mathrm{T}_0}\,\frac{\mathrm{P}_0}{p_3}.$$

Ces deux séries d'égalités donnent

$$\left\{\begin{aligned} m_1\sigma_1 &= \mathrm{V}\,\frac{\mathrm{T}_0}{\mathrm{T}}\,\frac{p_1}{\mathrm{P}_0},\\ m_2\sigma_2 &= \mathrm{V}\,\frac{\mathrm{T}_0}{\mathrm{T}}\,\frac{p_2}{\mathrm{P}_0},\\ m_3\sigma_3 &= \mathrm{V}\,\frac{\mathrm{T}_0}{\mathrm{T}}\,\frac{p_3}{\mathrm{P}_0}. \end{aligned}\right. \tag{20 bis}$$

Si l'on ajoute membre à membre ces trois égalités (20 *bis*), en tenant compte de l'égalité (20), on trouve

$$\mathrm{V} = \frac{\mathrm{T}}{\mathrm{T}_0}\,\frac{\mathrm{P}_0}{\mathrm{P}}\,(m_1\sigma_1 + m_2\sigma_2 + m_3\sigma_3). \tag{21}$$

De là, on déduit

$$\delta V = \frac{T}{T_0}\frac{P_0}{P}(\sigma_1\,\delta m_1 + \sigma_2\,\delta m_2 + \sigma_3\,\delta m_3),$$

ou bien, en vertu des égalités (1),

$$(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\,\delta V = \frac{T}{T_0}\frac{P_0}{P}[(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\sigma_3 - n_1\varpi_1\sigma_1 - n_2\varpi_2\sigma_2]\,\delta m_3.$$

D'ailleurs,

$$\frac{n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2 - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\sigma_3}{n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2} = \psi,$$

ψ étant la fraction de condensation. On a donc

$$\delta V = -\frac{P_0}{T_0}\frac{T}{P}\frac{n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2}{n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2}\psi\,\delta m_3.$$

Si l'on observe enfin que

$$\frac{P_0}{T_0} = R,$$

on aura

$$d\mathfrak{T}_c = -P\,\delta V = \frac{n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2}{n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2}R\psi T\,\delta m_3,$$

et cette valeur, reportée dans l'égalité (19), donne

$$(22)\qquad \lambda = L + \frac{n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2}{n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2}\frac{R}{E}\psi T.$$

La chaleur de formation, sous pression constante, d'un composé formé avec condensation, est plus grande que la chaleur de formation sous volume constant. La différence entre ces deux quantités est indépendante du volume et de la composition du mélange; elle ne dépend que de la température absolue, à laquelle elle est proportionnelle.

Nous avons encore ici

$$(12)\quad (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\frac{dL}{dT} = n_1\varpi_1 c_1(T) + n_2\varpi_2 c_2(T) - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)c_3(T).$$

Cette formule, jointe à la formule (22), donne

$$(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\frac{d\lambda}{dT} = n_1\varpi_1 c_1(T) + n_2\varpi_2 c_2(T)$$
$$- (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)c_3(T) + (n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2)\frac{R}{E}\psi.$$

Mais on a

$$\frac{R}{E}(n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2)\psi = \frac{R}{E}[n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2 - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\sigma_3],$$

et, par conséquent,

$$\begin{aligned}(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\frac{d\lambda}{dT} = \quad & n_1\varpi_1\left[c_1(T) + \frac{R}{E}\sigma_1\right] \\ & + n_2\varpi_2\left[c_2(T) + \frac{R}{E}\sigma_2\right] \\ & - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\left[c_3(T) + \frac{R}{E}\sigma_3\right].\end{aligned}$$

Or nous avons [Chapitre I, égalité (19 *bis*)]

$$C_1(T) = c_1(T) + \frac{R\sigma_1}{E},$$
$$C_2(T) = c_2(T) + \frac{R\sigma_2}{E},$$
$$C_3(T) = c_3(T) + \frac{R\sigma_3}{E}.$$

L'égalité précédente prend donc la forme, analogue à la forme (12),

$$(23)\quad (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\frac{d\lambda}{dT} = n_1\varpi_1 C_1(T) + n_2\varpi_2 C_2(T) - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)C_3(T).$$

Cette formule, comme la formule (12), se déduirait immédiatement des principes posés par G. Kirchhoff dès 1858.

Ces formules (12) et (23) sont générales. Voyons ce qu'elles deviennent, si nous admettons l'exactitude de la loi de Delaroche et Bérard.

Cette loi nous donne, en premier lieu,

$$\frac{n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2}{n_1 + n_2}C_3 = \varpi_1 C_1 = \varpi_2 C_2 = 2A,$$

A étant une constante qui est la même pour tous les gaz. De cette

égalité, nous déduisons

$$(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)C_3 = n_1\varpi_1 C_1 + n_2\varpi_2 C_2,$$

et l'égalité (23) devient

$$\frac{d\lambda}{dT} = 0.$$

Si l'on admet la loi de Delaroche et Bérard, la chaleur de formation, sous pression constante, d'un composé donné quelconque est une constante.

La loi de variation de la chaleur de formation sous volume constant se déduirait sans peine de l'application de la loi de Delaroche et Bérard à la formule (12); mais elle s'obtient plus aisément encore au moyen de la formule

$$(22) \qquad L = \lambda - \frac{n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2}{n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2}\frac{R}{E}\psi T.$$

Si l'on admet la loi de Delaroche et Bérard, la chaleur de formation, sous volume constant, d'un composé donné quelconque est une fonction linéaire de la température. Elle décroît si la température croît.

3. Relation entre l'état d'équilibre et la chaleur de formation. — La comparaison des égalités (12) et (18) nous donne encore, dans le cas actuel,

$$(14) \qquad \frac{d\varphi(T)}{dT} = -(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\frac{E}{R}\frac{L}{T^2}.$$

Cette égalité, comparée à la condition d'équilibre (17), nous donne sans peine les résultats suivants :

Si l'on chauffe un composé sous volume constant, selon que, à la température où l'on opère, la chaleur de formation du composé sous volume constant est positive ou négative, une élévation de température accroît ou diminue la dissociation du composé.

L'égalité (17) peut s'écrire

$$\begin{aligned}(n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2)(1-\psi)\log m_3 - n_1\varpi_1\sigma_1\log m_1 \\ - n_2\varpi_2\sigma_2\log m_2 + \psi(n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2)\log V = \varphi(T).\end{aligned}$$

Si l'on remplace, dans cette égalité, V par sa valeur (21), qui

peut s'écrire

$$\log V = \log RT - \log P + \log(m_1\sigma_1 + m_2\sigma_2 + m_3\sigma_3),$$

on trouve

$$(24)\quad \left\{\begin{aligned} &(n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2)(1-\psi)\log m_3 - n_1\varpi_1\sigma_1\log m_1 - n_2\varpi_2\sigma_2\log m_2 \\ &\quad + \psi(n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2)\log(m_1\sigma_1 + m_2\sigma_2 + m_3\sigma_3) \\ &\quad - \psi(n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2)\log P \\ &= \varphi(T) - \psi(n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2)\log RT. \end{aligned}\right.$$

Cette égalité permet de déterminer l'état d'équilibre du système lorsqu'on se donne sa température T et la pression P à laquelle il est soumis.

Supposons que, la pression P demeurant constante, on élève la température de dT; on aura alors

$$\begin{aligned} &\frac{(n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2)(1-\psi)}{m_3}\frac{dm_3}{dT} - \frac{n_1\varpi_1\sigma_1}{m_1}\frac{dm_1}{dT} - \frac{n_2\varpi_2\sigma_2}{m_2}\frac{dm_2}{dT} \\ &\quad + \frac{(n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2)\psi}{m_1\sigma_1 + m_2\sigma_2 + m_3\sigma_3}\left(\sigma_1\frac{dm_1}{dT} + \sigma_2\frac{dm_2}{dT} + \sigma_3\frac{dm_3}{dT}\right) \\ &= \frac{d\varphi(T)}{dT} - \frac{(n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2)\psi}{T}. \end{aligned}$$

En vertu des égalités (1), cette égalité devient

$$(24\ bis)\quad \left\{\begin{aligned} &\left\{\frac{(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)^2\sigma_3^2}{m_3\sigma_3} + \frac{n_1^2\varpi_1^2\sigma_1^2}{m_1\sigma_1} + \frac{n_2^2\varpi_2^2\sigma_2^2}{m_3\sigma_3}\right. \\ &\quad \left. - \frac{[n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2 - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\sigma_3]^2}{m_1\sigma_1 + m_2\sigma_2 + m_3\sigma_3}\right\}\frac{dm_3}{dT} \\ &= (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\left[\frac{d\varphi(T)}{dT} - \frac{(n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2)\psi}{T}\right]. \end{aligned}\right.$$

Mais, en premier lieu, on s'assure aisément que l'on a l'identité

$$\begin{aligned} &\frac{(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)^2\sigma_3^2}{m_3\sigma_3} + \frac{n_1^2\varpi_1^2\sigma_1^2}{m_1\sigma_1} + \frac{n_2^2\varpi_2^2\sigma_2^2}{m_2\sigma_2} \\ &\quad - \frac{[n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2 - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\sigma_3]^2}{m_1\sigma_1 + m_2\sigma_2 + m_3\sigma_3} \\ &= \frac{(n_1\varpi_1 m_2 - n_2\varpi_2 m_1)^2\sigma_1^2\sigma_2^2 m_3\sigma_3}{m_1\sigma_1 m_2\sigma_2 m_3\sigma_3(m_1\sigma_1 + m_2\sigma_2 + m_3\sigma_3)} \\ &\quad + \frac{[(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)m_1 + n_1\varpi_1 m_3]^2\sigma_3^2\sigma_1^2 m_2\sigma_2}{m_1\sigma_1 m_2\sigma_2 m_3\sigma_3(m_1\sigma_1 + m_2\sigma_2 + m_3\sigma_3)} \\ &\quad + \frac{[(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)m_2 + n_2\varpi_2 m_3]^2\sigma_3^2\sigma_2^2 m_1\sigma_1}{m_1\sigma_1 m_2\sigma_2 m_3\sigma_3(m_1\sigma_1 + m_2\sigma_2 + m_3\sigma_3)}. \end{aligned}$$

Le second membre de cette égalité est une quantité essentiellement positive, que nous désignerons par k^2.

En second lieu, nous avons, comme nous l'avons vu,

$$(14) \qquad \frac{d\varphi(T)}{dT} = -(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\frac{E}{R}\frac{L}{T^2}.$$

Enfin, la formule (22) nous donne

$$(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\frac{E}{R}\frac{L}{T} + (n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2)\psi = (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\frac{E}{R}\frac{\lambda}{T}.$$

L'égalité (24) devient donc

$$(25) \qquad k^2\frac{dm_3}{dT} = -(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)^2\frac{E}{R}\frac{\lambda}{T}.$$

On en déduit sans peine la conclusion suivante :

Lorsqu'on élève la température du système en maintenant sa pression constante, on accroît ou l'on diminue la dissociation, selon que, à la température considérée et sous pression constante, le composé se forme avec dégagement ou avec absorption de chaleur.

Les deux propositions que nous venons de démontrer sont conformes au principe général posé par M. J.-H. van t' Hoff. Leur démonstration ne suppose ni la loi de Clausius, ni la loi de Delaroche et Bérard.

4. Formes simplifiées de la condition d'équilibre. — Reprenons la condition d'équilibre (17). Soient α_1, α_2 les atomicités des deux gaz G_1, G_2. Nous aurons [Chap. I, égalité (23)]

$$\varpi_1\sigma_1 = \frac{4}{\alpha_1}\Sigma,$$

$$\varpi_2\sigma_2 = \frac{4}{\alpha_2}\Sigma,$$

Σ étant le volume spécifique de l'hydrogène dans les conditions normales de température et de pression.

D'autre part, nous avons

$$\psi = \frac{n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2 - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\sigma_3}{n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2}.$$

Si nous désignons par α_3 l'atomicité du gaz composé G_3, nous aurons

$$(n_1\varpi_1 + n\ \varpi_2)\sigma_3 = \frac{4}{\alpha_3}\Sigma$$

et

$$\psi = \frac{\frac{n_1}{\alpha_1} + \frac{n_2}{\alpha_2} - \frac{1}{\alpha_3}}{\frac{n_1}{\alpha_1} + \frac{n_2}{\alpha_2}}.$$

La relation (17) pourra donc s'écrire

$$(26) \qquad \log\left[V^{\left(\frac{n_1}{\alpha_1}+\frac{n_2}{\alpha_2}-\frac{1}{\alpha_3}\right)}\frac{m_3^{\frac{1}{\alpha_3}}}{m_1^{\frac{n_1}{\alpha_1}}m_2^{\frac{n_2}{\alpha_2}}}\right] = \frac{\varphi(T)}{4\Sigma}.$$

Ainsi, *à une température déterminée, le produit*

$$V^{\left(\frac{n_1}{\alpha_1}+\frac{n_2}{\alpha_2}-\frac{1}{\alpha_3}\right)}\frac{m_3^{\frac{1}{\alpha_3}}}{m_1^{\frac{n_1}{\alpha_1}}m_2^{\frac{n_2}{\alpha_2}}}$$

est constant.

Si les gaz composants et le gaz composé suivent la loi d'Avogadro et d'Ampère, on a

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 2$$

et l'égalité précédente devient

$$(27) \qquad \log\left[V^{(n_1+n_2-1)}\frac{m_3}{m_1^{n_1}m_2^{n_2}}\right] = \frac{\varphi(T)}{2\Sigma}.$$

Donc, *si le gaz composé et les gaz composants suivent tous trois la loi d'Avogadro et d'Ampère, à une température donnée, la quantité*

$$V^{(n_1+n_2-1)}\frac{m_3}{m_1^{n_1}m_2^{n_2}}$$

a une valeur constante.

Ces formules simplifiées sont intéressantes à connaître, mais nous n'en ferons pas usage.

Admettons maintenant, avec Clausius, que les chaleurs spécifiques des gaz parfaits sont indépendantes de la température, et cherchons à déterminer la forme de la fonction $\varphi(T)$.

L'égalité (12)

$$(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\frac{dL}{dT} = n_1\varpi_1 c_1 + n_2\varpi_2 c_2 - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)c_3$$

s'intègre alors et donne

$$(28)\quad \left\{\begin{aligned}(n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)L &= (n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)L_0 \\ &\quad +[n_1\varpi_1 c_1+n_2\varpi_2 c_2-(n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)c_3](T-T_0).\end{aligned}\right.$$

T_0 étant une température arbitraire et L_0 la valeur de L à cette température.

La relation (14)

$$\frac{d\varphi(T)}{dT} = -(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\frac{E}{R}\frac{L}{T^2}$$

devient alors

$$\frac{d\varphi(T)}{dT} = \frac{E[(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)c_3 - n_1\varpi_1 c_1 - n_2\varpi_2 c_2]}{RT} - \frac{E[(n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)c_3 - n_1\varpi_1 c_1 - n_2\varpi_2 c_2]T_0 + (n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)L_0}{RT^2}.$$

Posons

$$(29)\quad \left\{\begin{aligned} M &= \frac{E[(n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)c_3 - n_1\varpi_1 c_1 - n_2\varpi_2 c_2]T_0 + (n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)L_0}{R}, \\ N &= \frac{E[(n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)c_3 - n_1\varpi_1 c_1 - n_2\varpi_2 c_2]}{R}\end{aligned}\right.$$

et désignons par Z une constante. Nous aurons

$$(29\ bis)\qquad \varphi(T) = \frac{M}{T} + N\log T + Z,$$

en sorte que l'égalité (17 *bis*) deviendra

$$(30)\quad \log\left\{V^{[n_1\varpi_1\sigma_1+n_2\varpi_2\sigma_2-(n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)\sigma_3]}\frac{m_3^{(n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)\sigma_3}}{m_1^{n_1\varpi_1\sigma_1}\,m_2^{n_2\varpi_2\sigma_2}}\right\} = \frac{M}{T} + N\log T + Z.$$

tandis que l'égalité (28) prendra la forme

$$(31)\qquad (n_1\varpi + n_2\varpi_2)L = \frac{R(M - NT)}{E}.$$

Ces deux égalités (30) et (31) supposent seulement la loi de

Clausius relative à la constance de la chaleur spécifique des gaz. Elles sont dues à M. J.-W. Gibbs.

La loi de Delaroche et Bérard laisse leur forme aux égalités (30) et (31); mais elle nous donne de nouveaux renseignements sur les constantes M et N.

Cette loi nous donne, en effet,

$$(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)C_3 - n_1\varpi_1 C_1 - n_2\varpi_2 C_2 = 0,$$

ou bien

$$(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)c_3 - n_1\varpi_1 c_1 - n_2\varpi_2 c_2 + \frac{R}{E}[(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\sigma_3 - n_1\varpi_1\sigma_1 - n_2\varpi_2\sigma_2] = 0.$$

Les égalités (29) deviennent donc, en vertu de la loi de Delaroche et Bérard,

$$(29\ ter)\quad \begin{cases} M = \dfrac{(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)L_0}{R} + (n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2)\psi T_0, \\ N = (n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2)\psi. \end{cases}$$

5. Influence de la température sur l'état d'équilibre. — Pour discuter l'influence que la température exerce sur l'état d'équilibre, lorsque la dissociation se produit *sous volume constant*, nous admettrons dorénavant l'exactitude de la loi de Clausius et de la loi de Delaroche et Bérard.

D'après la seconde des égalités (29 *bis*), pour un composé formé avec condensation, la constante N est essentiellement positive. Pour discuter la marche de la fonction

$$\varphi(T) = \frac{M}{T} + N\log T + Z,$$

deux cas sont à distinguer :

1° *La constante* M *est positive;* dans ce cas, pour $T = 0$, la fonction $\varphi(T)$ part de $+\infty$; elle décroît jusqu'à ce que T atteigne la valeur

$$(32)\qquad T = \frac{M}{N},$$

puis elle croît jusqu'à la valeur $+\infty$ qu'elle atteint de nouveau pour $T = +\infty$.

2° *La constante* M *est négative;* dans ce cas, pour $T = 0$, la fonction $\varphi(T)$ part de $-\infty$; elle croît sans cesse avec T, jusqu'à la valeur $+\infty$ qu'elle atteint pour $T = +\infty$.

Ces résultats permettent de décrire ce qui arrive si l'on chauffe le système *sous volume constant* depuis la plus basse des températures pour lesquelles les gaz qui le forment puissent être regardés comme voisins de l'état parfait jusqu'aux températures les plus élevées.

1° *Gaz pour lesquels* M *est positif : Pour un tel gaz, la chaleur de formation sous volume constant est positive aux températures inférieures à* $\frac{M}{N}$, *nulle pour la température* $\frac{M}{N}$, *négative pour les températures supérieures à* $\frac{M}{N}$.

Lorsqu'on chauffe sous volume constant un mélange renfermant un tel composé et ses éléments, la quantité du composé qu'il renferme est très grande aux basses températures; elle diminue graduellement au fur et à mesure que la température s'élève; pour $T = \frac{M}{N}$, *elle passe par un minimum qui n'est pas nul; lorsque* T *croît au delà de toute limite, elle tend vers la plus grande valeur qui soit compatible avec la constitution du système.*

2° *Gaz pour lesquels* M *est négatif : Pour un tel gaz, la chaleur de formation sous volume constant est négative à toute température. Lorsqu'on chauffe sous volume constant un mélange renfermant un tel composé et ses éléments, la quantité de composé formé croît sans cesse avec la température. Lorsque la température croît au delà de toute limite, elle tend vers la plus grande valeur qui soit compatible avec la constitution du système.*

Étudions maintenant la *dissociation sous pression constante.* La condition d'équilibre (24) devient alors

$$(33)\quad \left\{\begin{aligned} &\log \frac{m_3^{(n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)\sigma_3}}{m_1^{n_1\varpi_1\sigma_1}\, m_2^{n_2\varpi_2\sigma_2}} \\ &\quad + \psi(n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2)\log(m_1\sigma_1 + m_2\sigma_2 + m_3\sigma_3) \\ &\qquad\qquad - \psi(n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2)\log P = \frac{M}{T} + Z'. \end{aligned}\right.$$

en posant

$$Z' = Z - \psi(n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2)\log R,$$

tandis que l'égalité (22) devient

$$(34) \qquad (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\lambda = \frac{M}{N}.$$

Nous avons vu que, lorsqu'on chauffait le mélange sous pression constante, $\frac{dm_3}{dT}$ avait constamment le signe de λ; d'ailleurs, d'après l'égalité (34), λ a le signe de M. Nous arrivons donc aux résultats suivants :

1° *Gaz pour lesquels* M *est positif : Sous pression constante, ces gaz se forment avec dégagement de chaleur. Lorsqu'on chauffe sous pression constante un mélange qui contient un tel gaz et ses composants, la dissociation du composé croît sans cesse avec la température. Lorsque la température croît au delà de toute limite, le système tend vers un état limite qui n'est pas l'état de dissociation intégrale. Cet état limite dépend de la pression qui agit sur le système.*

2° *Gaz pour lesquels* M *est négatif : Sous pression constante, ces gaz se forment avec absorption de chaleur. Un mélange qui contient un tel composé et ses composants étant chauffé sous pression constante, la quantité de composé qu'il contient croît avec la température. Lorsque la température croît au delà de toute limite, le système tend vers un état limite qui renferme encore une certaine quantité de chacun des gaz composants à l'état de liberté. Cet état limite dépend de la pression à laquelle le système est soumis.*

Ces diverses propositions ont été sommairement indiquées par M. J.-W. Gibbs [1]. Elles présentent certaines particularités paradoxales sur lesquelles il est bon d'appeler l'attention.

1° Tous les composés qui sont formés avec condensation, et qui, prenant naissance dans un récipient de volume invariable, se forment avec *dégagement* de chaleur aux températures où nous

---

[1] J.-W. Gibbs, *On the equilibrium of heterogeneous substances* (*Transactions of Connecticut Academy*, vol. III, p. 232).

les observons, finissent toujours par devenir *endothermiques*, lorsqu'on élève suffisamment leur température en maintenant leur volume constant. Ces composés présentent un *minimum de stabilité* correspondant à la température pour laquelle leur chaleur de formation change de signe.

2° Lorsqu'on chauffe un composé exothermique sous pression constante, on le décompose partiellement; la dissociation est d'autant plus grande que la température est plus élevée; mais *elle ne tend pas à être complète*. Lorsqu'on chauffe, sous pression constante, un mélange de gaz dont la combinaison peut fournir un composé endothermique, ces gaz se combinent d'autant plus complètement que la température est plus élevée; mais l'état vers lequel on tend *n'est pas l'état de combinaison intégrale*.

6. Dissociation dans le cas ou les gaz composants sont en proportion équivalente. — Nous allons, pour terminer cette étude, développer les lois analytiques de la dissociation pour le cas où les masses des gaz G_1 et G_2, tant libres que combinées, que renferme le système, sont dans le rapport des deux nombres $n_1\varpi_1$ et $n_2\varpi_2$, condition qui s'exprime par l'égalité

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{n_1\varpi_1}{n_2\varpi_2}.$$

Cette égalité entraîne à chaque instant cette autre

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{n_1\varpi_1}{n_2\varpi_2}.$$

A ces égalités, joignons les égalités

$$(9)\qquad \begin{cases} m_1 + \dfrac{n_1\varpi_1}{n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2}\, m_3 = M_1, \\ m_2 + \dfrac{n_2\varpi_2}{n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2}\, m_3 = M_2 \end{cases}$$

et désignons par

$$\mathfrak{M} = M_1 + M_2$$

la masse totale du système. Nous aurons

$$(35)\qquad \begin{cases} m_1 = \dfrac{n_1\varpi_1}{n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2}(\mathfrak{M} - m_3), \\ m_2 = \dfrac{n_2\varpi_2}{n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2}(\mathfrak{M} - m_3). \end{cases}$$

1° *Dissociation sous volume constant.* — Si nous supposons le volume V maintenu invariable, l'égalité (30) nous donnera

$$(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\sigma_3 \frac{dm_3}{m_3} - n_1\varpi_1\sigma_1 \frac{dm_1}{m_1} - n_2\varpi_2\sigma_2 \frac{dm_2}{m_2} = \left(\frac{N}{T} - \frac{M}{T^2}\right) dT.$$

On a, d'ailleurs,

$$dm_1 = -\frac{n_1\varpi_1}{n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2} dm_3,$$

$$dm_2 = -\frac{n_2\varpi_2}{n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2} dm_3$$

et, par conséquent, en vertu des égalités (35),

$$\frac{dm_3}{dT} = \frac{m_3(\mathfrak{M} - m_3)\left(\frac{N}{T} - \frac{M}{T^2}\right)}{(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\sigma_3(\mathfrak{M} - m_3) + (n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2)m_3}$$

ou encore

$$(36)\quad \frac{dm_3}{dT} = -\frac{1}{(n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2)} \frac{m_3(\mathfrak{M} - m_3)}{m_3 + (1-\psi)(\mathfrak{M} - m_3)}\left(\frac{M}{T^2} - \frac{N}{T}\right).$$

2° *Dissociation sous pression constante.* — Si nous supposons la pression P maintenue invariable, la formule (33) nous donne

$$\begin{aligned}(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\sigma_3 \frac{dm_3}{m_3} - n_1\varpi_1\sigma_1 \frac{dm_1}{m_1} - n_2\varpi_2\sigma_2 \frac{dm_2}{m_2} \\ + [(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\sigma_3 - n_1\varpi_1\sigma_1 - n_2\varpi_2\sigma_2] \frac{\sigma_1 dm_1 + \sigma_2 dm_2 + \sigma_3 dm_3}{\sigma_1 m_1 + \sigma_2 m_2 + \sigma_3 m_3} \\ + \frac{M}{T^2} dT = 0.\end{aligned}$$

En vertu des égalités (35), et en posant, suivant l'usage,

$$\psi = \frac{n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2 - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\sigma_3}{n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2},$$

cette égalité devient

$$(37)\quad \frac{dm_3}{dT} = -\frac{1}{n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2} \frac{m_3(\mathfrak{M} - m_3)(\mathfrak{M} - \psi m_3)}{(1-\psi)\mathfrak{M}^2 + 2\psi^2 m_3(\mathfrak{M} - m_3)} \frac{M}{T^2}.$$

Si l'on observe que les deux quantités

$$\frac{m_3(\mathfrak{M} - m_3)}{m_3 + (1 - \psi)(\mathfrak{M} - m_3)}$$

et

$$\frac{m_3(\mathfrak{M} - m_3)(\mathfrak{M} - \psi m_3)}{(1 - \psi)\mathfrak{M}^2 + 2\psi^2 m_3(\mathfrak{M} - m_3)}$$

ne sont jamais négatives, on retrouve aisément, au moyen des égalités (36) et (37), l'influence que les variations de température exercent sur l'état d'équilibre. Nous aurons, plus tard, à faire usage de ces formules.

§ III. — Application des lois précédentes à l'éclaircissement de quelques faits d'expérience.

1. Généralités. — L'étude précédente nous a mis en évidence la loi fondamentale dont voici l'énoncé :

Si, dans les conditions où l'on opère, un composé est formé avec dégagement de chaleur, son état de dissociation augmente lorsqu'on élève la température; si, au contraire, dans les conditions où l'on opère, un composé est formé avec absorption de chaleur, son état de dissociation diminue lorsqu'on élève la température.

Cette loi, nous y sommes parvenus, pour le cas particulier qui nous occupe, en partant des hypothèses fondamentales sur les gaz parfaits et les mélanges de gaz parfaits; mais elle est une conséquence particulière de la loi entièrement générale qui régit le déplacement de l'équilibre avec la température.

Si nous cherchons à comparer à l'expérience ces résultats de la théorie, nous rencontrons à chaque instant un désaccord complet.

Prenons un exemple. Aux températures que nous pouvons réaliser dans nos laboratoires, l'hydrogène et le chlore se combinent à volumes égaux, sans condensation, avec dégagement de chaleur. Par conséquent, d'après la théorie précédente, à basse température, un mélange d'hydrogène et de chlore ne pourrait être en équilibre que si la presque totalité des deux gaz était à l'état d'acide chlorhydrique. Or dans la réalité, à basse température, on peut fort bien observer un mélange d'hydrogène et de chlore en

équilibre, à la condition de le maintenir dans l'obscurité, et la combinaison, que la théorie précédente indique comme devant avoir lieu nécessairement en toute circonstance, ne se produit, en réalité, que sous l'influence de la lumière.

Il est donc certain que la théorie précédente ne rend pas compte de *tous* les faits d'expérience et qu'il est nécessaire de lui substituer une théorie plus complète.

C'est ici le lieu de répéter ce que nous avons déjà dit dans un Mémoire précédent (¹) :

« La représentation adoptée ici suppose chaque élément des gaz étudiés défini exclusivement par sa température et son volume spécifique. En réalité, on conçoit que la définition d'un élément ne doit être complète que lorsqu'on tient compte non seulement de sa densité et de sa température, mais encore de la situation qu'il occupe par rapport aux éléments de volume qui l'environnent, de la nature, de la densité, de la température de ceux-ci.

» Tenir compte de toutes ces particularités, c'est l'objet de la théorie de la capillarité. »

La théorie de la capillarité, pénétrant dans l'étude de la vaporisation, de la fusion, de la dissolution, fournit de ces divers phénomènes une étude qui ne présente plus avec l'expérience aucune contradiction. L'application de cette même théorie aux systèmes formés par un mélange de gaz n'est pas même ébauchée. On peut espérer, néanmoins, qu'elle se constituera bientôt, et donnera la théorie complète des réactions qui peuvent se produire dans un semblable système.

Mais, du moins, la théorie que nous venons d'exposer, bien qu'incomplète, n'est pas inutile; en effet, il est aisé de voir que la théorie plus complète fournie par la capillarité devra nécessairement conduire à la proposition suivante, pourvu que les mélanges gazeux soient pris en grande masse :

Toutes les transformations que la théorie incomplète exposée ici indique comme impossibles demeurent impossibles dans

---

(¹) P. Duhem, *Sur la continuité entre l'état liquide et l'état gazeux et sur la théorie générale des vapeurs*, Chap. I, § 4.

la théorie complète; seulement, celles qu'elle indique comme nécessaires peuvent ne pas se produire.

Ainsi, la théorie que nous venons d'exposer annonce que l'acide chlorhydrique ne peut, à basse température, être notablement dissocié; effectivement, l'acide chlorhydrique ne se décompose pas à basse température. La théorie que nous venons d'exposer indique qu'à basse température le chlore et l'hydrogène doivent se combiner; en réalité, selon des circonstances accessoires que la théorie ne fait pas entrer en ligne de compte, cette combinaison se produit ou ne se produit pas.

Il en résulte que l'on peut observer deux sortes d'états d'équilibre dans un système formé par un mélange de gaz :

1° Les états d'équilibre prévus par la théorie précédente; ceux-ci correspondent à une composition stable du système. Si le système présente la composition qui correspond à un tel état d'équilibre, on est assuré que sa composition ne peut varier tant que la température et la pression ne varient pas. S'il ne présente pas cette composition-là, sa composition ne pourra varier que pour se rapprocher de celle-là, jamais pour s'en éloigner.

2° Les états d'équilibre prévus par la théorie complète, mais non par la théorie précédente; ceux-ci correspondent à une composition instable du système supposé homogène. La composition du système peut s'écarter de celle qui correspond à un de ces équilibres pour se rapprocher de la composition stable dont nous venons de parler. Nous donnerons à ces états d'équilibre le nom d'*états de faux équilibre.*

Pour terminer ces considérations générales, ajoutons que ces états de faux équilibre se maintiennent, en général, d'autant plus aisément que la température est plus basse, et qu'à partir d'une certaine température limite on ne les observe plus d'une manière durable. Le seul état d'équilibre observable est alors l'état d'équilibre prévu par la théorie précédente.

2. Composés directs; composés indirects. — Supposons que les expériences destinées à étudier la dissociation d'un certain composé soient toutes comprises entre deux températures limites; l'une, inférieure, T_0 (par exemple, la température ordinaire); l'autre, supérieure, T_1.

Entre ces deux limites, nous opérons soit sous pression constante, soit sous volume constant. Imaginons qu'entre ces limites de température, la chaleur de formation du composé, prise dans les conditions où l'on opère, ait un signe constant et distinguons deux cas :

1° *La chaleur de formation du composé est positive.* — Dans ce cas, la théorie précédente nous montre que la masse du gaz composé qui subsiste dans l'état d'équilibre, très grande à la température T_0, doit diminuer au fur et à mesure que la température s'approche de T_1 ; c'est donc seulement aux températures élevées que l'on observera une décomposition notable du composé. Aux basses températures, voisines de T_0, le composé sera stable ; le mélange des gaz composants, bien que n'étant pas en équilibre d'après la théorie incomplète que nous venons d'exposer, pourra, en réalité, être observé à l'état d'équilibre ; mais cet équilibre sera ce que nous venons d'appeler un faux équilibre ; le système pourra s'écarter de cet état d'équilibre en devenant le siège d'une combinaison ; mais, après s'en être écarté, il ne pourra pas y revenir. A partir d'une certaine limite de température, cet état de faux équilibre ne s'observera plus ; on n'observera plus que l'état d'équilibre stable donné par la théorie précédente, état dans lequel une partie des gaz est à l'état de combinaison et une autre partie dissociée. Si l'on chauffe, jusqu'à cette limite de température, un mélange de gaz à l'état de faux équilibre, ce faux équilibre cessera brusquement. Le mélange à l'état de faux équilibre constitue donc un *mélange détonant.*

Avant les travaux de H. Sainte-Claire Deville, on ne savait pas que les gaz composés, formés avec dégagement de chaleur, pouvaient se décomposer partiellement à haute température. On décrivait alors ces corps comme doués des propriétés suivantes :

A basse température, les gaz composants ne se combinent pas d'eux-mêmes.

Lorsqu'on élève la température jusqu'à une certaine limite, ils se combinent et la combinaison est intégrale.

Le composé ainsi formé est indécomposable par la chaleur.

Un tel composé était nommé *exothermique, direct,* ou *indé-*

composable par la chaleur. On voit que ce dernier qualificatif était précisément le contrepied de la vérité.

2° *La chaleur de formation du composé est négative.* — D'après la théorie précédente, la masse du composé qui existe dans l'état d'équilibre est très faible à basse température, au voisinage de la température T_0 ; elle va en croissant au fur et à mesure que la température s'élève et s'approche de T_1. C'est donc seulement aux températures élevées que l'on observera une formation notable du composé. Aux basses températures, voisines de T_0, le mélange des gaz composants sera stable ; le composé, au contraire, ne sera pas en équilibre d'après la théorie précédente. Il pourra, néanmoins, être observé à l'état de faux équilibre. Si le composé s'est écarté de cet état de faux équilibre en subissant une décomposition, il ne pourra pas y revenir. A partir d'une certaine température, l'équilibre instable en question ne pourra plus être maintenu ; le composé se dissociera en dégageant de la chaleur, c'est-à-dire avec explosion. Les composés endothermiques sont donc *explosifs*.

Les anciens chimistes ignoraient que les composés dont il s'agit pussent être formés directement, à température élevée, aux dépens de leurs éléments ; ils décrivaient donc ces corps comme doués des propriétés suivantes :

A basse température, le composé ne se détruit pas.

A une température plus élevée, il se décompose avec explosion.

Ses éléments, une fois désunis, ne se recomposent pas sous l'action de la chaleur.

Ils donnaient à ces composés endothermiques le nom de *composés indirects* ou de *corps décomposables par la chaleur*. Ces deux dénominations signifiaient le contrepied de la vérité.

C'est à H. Sainte-Claire Deville que l'on doit la véritable interprétation des phénomènes produits par l'action de la chaleur sur les corps ; cette interprétation fut appuyée par lui sur des expériences nettes.

3. Vérifications expérimentales. — Pour prouver expérimentalement la justesse des idées de H. Sainte-Claire Deville relativement à l'influence de la température sur les combinaisons

chimiques, il est nécessaire d'établir expérimentalement les deux propositions suivantes, qui sont la négation formelle des idées admises avant lui :

1° Les composés exothermiques se décomposent partiellement à température élevée.

2° Les composés endothermiques peuvent se former directement lorsqu'on porte leurs éléments à une température suffisamment élevée.

L'établissement de ces deux points est évidemment subordonné à la question suivante :

Trouver des méthodes propres à étudier la constitution qu'un mélange gazeux présente à une température élevée.

H. Sainte-Claire Deville et les chimistes qui, après lui, se sont occupés de l'étude de la dissociation, ont créé, pour répondre à cette question, des méthodes dont plusieurs sont extrêmement ingénieuses. Les plus importantes parmi ces méthodes peuvent se classer de la manière suivante :

1° Pour mettre en évidence la décomposition partielle d'un composé exothermique à haute température, on peut se servir de la différence de densité qui existe entre ses composants, différence qui entraîne une *différence entre les vitesses avec lesquelles ces deux gaz se diffusent* au travers d'une paroi poreuse. A cet effet, l'enceinte portée à haute température est séparée par la cloison poreuse en deux parties ; dans l'une de ces deux parties, circule le gaz composé ; s'il est partiellement décomposé, ses composants se diffuseront avec une inégale vitesse vers l'autre partie. Au bout d'un temps assez court, si l'on extrait les gaz contenus dans cette seconde partie, on devra y retrouver, à l'état libre, une certaine quantité de celui des deux gaz composants qui diffuse le plus vite; au contraire, la première partie contiendra, à l'état libre, une masse équivalente de l'autre gaz composant.

On sait que H. Sainte-Claire Deville a fait usage de cette méthode pour mettre en évidence la dissociation de la vapeur d'eau.

2° Pour mettre en évidence la décomposition partielle qu'un composé exothermique subit à haute température, on peut encore

faire usage d'*un corps qui dissolve un des deux composants* sans agir chimiquement sur aucun des deux composants ni sur le composé. C'est ainsi que la litharge ou l'argent, mis en présence de la vapeur d'eau fortement chauffée et en partie dissociée, dissolvent l'oxygène devenu libre et ne le restituent qu'à basse température, ce qui constitue le phénomène du rochage.

3° Mais la méthode la plus fréquemment employée pour étudier la constitution d'un mélange gazeux à une température élevée est la méthode du *refroidissement brusque*.

Cette méthode repose sur le principe suivant :

Le mélange gazeux qui est, à haute température, en équilibre stable, peut, avec la même composition, être aussi en équilibre à basse température, mais à l'état de faux équilibre. Si donc on refroidit le mélange gazeux assez brusquement pour que sa composition n'ait pas le temps de se modifier sensiblement pendant qu'il traverse les températures intermédiaires où les faux équilibres ne se peuvent maintenir, on obtiendra un mélange gazeux dont la composition ne se modifiera plus et dont la constitution pourra être étudiée par les moyens qui permettent l'analyse d'un mélange de gaz froids.

La méthode a été employée sous sa forme typique par M. G. Lemoine pour étudier la dissociation de l'acide iodhydrique.

4° Sous cette forme simple, il ne serait pas possible d'employer la méthode pour les hautes températures atteintes dans les expériences de H. Sainte-Claire Deville ; les récipients se briseraient. On se contente alors de faire *écouler rapidement* le mélange gazeux d'une région chaude à une région froide. Dans ces conditions, la précision atteinte est beaucoup moindre que dans les conditions où opérait M. G. Lemoine. On peut demander à cette manière d'opérer des indications qualitatives, mais non des renseignements quantitatifs. Cette méthode a été employée par H. Sainte-Claire Deville pour étudier la dissociation de la vapeur d'eau et la dissociation de l'acide carbonique. On doit y rattacher le procédé qui, pour étudier les gaz d'une flamme ou d'un haut fourneau, consiste à les aspirer avec une trompe.

5° C'est encore à la théorie du refroidissement brusque que

l'on doit rattacher l'explication, donnée par H. Sainte-Claire Deville, du rôle de l'*étincelle électrique*.

On savait, depuis bien longtemps, que les composés réputés indécomposables par la chaleur pouvaient être décomposés au moyen d'une série d'étincelles électriques ; que, dans les mêmes circonstances, les composés réputés indirects pouvaient prendre naissance aux dépens de leurs éléments ; mais les chimistes regardaient ces réactions comme les effets d'une action particulière de l'étincelle électrique, action qu'ils n'avaient pas l'idée de rapprocher de celle de la chaleur.

Cette idée fut celle de H. Sainte-Claire Deville. Pour lui, l'étincelle a simplement pour effet de créer une région très petite et très chaude environnée de tous côtés d'une masse de gaz froids. Les actions de l'étincelle s'expliquent toutes par le passage très rapide des gaz d'une région très chaude à une région très froide.

6° C'est pour vérifier cette manière de voir que H. Sainte-Claire Deville imagina la méthode de l'*appareil à tubes chaud et froid*.

Un tube de porcelaine réfractaire est porté à une très haute température dans un four à réverbère. Suivant l'axe de ce tube est disposé un second tube en laiton, parcouru, à son intérieur, par un courant d'eau froide. La surface extérieure de ce tube est ainsi maintenue à une température peu élevée, car une matière organique, telle que la teinture de tournesol, déposée à la surface du tube, y demeure inaltérée. L'espace annulaire compris entre les deux tubes présente alors une région très chaude située au voisinage immédiat d'une région très froide. Un mélange gazeux, passant dans cet espace annulaire, devra présenter des phénomènes analogues à ceux qu'il manifesterait dans une enceinte où passerait l'étincelle électrique. C'est ainsi que H. Sainte-Claire Deville a pu manifester la dissociation de l'oxyde de carbone, de l'acide sulfureux, de l'acide chlorhydrique ; que MM. Troost et Hautefeuille ont pu montrer la formation de l'ozone à une température voisine de $+1000°$C.

CHAPITRE IV.

DENSITÉ D'UNE COMBINAISON GAZEUSE DISSOCIABLE.

Les faits d'expérience que nous venons de citer ne vérifient, parmi les prévisions de la théorie de M. Gibbs, que celles auxquelles conduirait l'application directe du principe du déplacement de l'équilibre; encore ne les vérifient-ils que d'une manière qualitative. Il serait désirable que l'on pût trouver de cette théorie une vérification numérique portant sur les propositions qui lui appartiennent en propre. Cette vérification, nous allons la trouver dans l'étude des variations que présente la densité de vapeur d'une combinaison dissociable.

L'égalité (17 *bis*) du Chapitre III, qui suppose seulement l'acceptation de la définition la plus générale des gaz parfaits, peut se mettre sous une forme très élégante.

On peut écrire cette égalité

$$(1)\qquad \log\left[\frac{\left(\frac{m_3}{V}\right)^{(n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)\sigma_3}}{\left(\frac{m_1}{V}\right)^{n_1\varpi_1\sigma_1}\left(\frac{m_2}{V}\right)^{n_2\varpi_2\sigma_2}}\right] = \varphi(T).$$

Mais on a [Chap. III, égalités (20 *bis*)]

$$\frac{m_1}{V} = \frac{T_0}{P_0}\,\frac{1}{T}\,\frac{p_1}{\sigma_1},$$

$$\frac{m_2}{V} = \frac{T_0}{P_0}\,\frac{1}{T}\,\frac{p_2}{\sigma_2},$$

$$\frac{m_3}{V} = \frac{T_0}{P_0}\,\frac{1}{T}\,\frac{p_3}{\sigma_3},$$

p_1, p_2, p_3 étant les pressions partielles des masses m_1, m_2, m_3 répandues dans le volume V.

Si l'on remarque que l'on a

$$\frac{T_0}{P_0} = \frac{1}{R},$$

on voit que l'on pourra écrire l'égalité (1)

$$(2)\quad \begin{cases} \log\left[\dfrac{p_3^{(n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)\sigma_3}}{p_1^{n_1\varpi_1\sigma_1}\,p_2^{n_2\varpi_2\sigma_2}}\right] \\ \quad = \varphi(T) - [n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2 - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\sigma_3]\log T \\ \qquad + (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\sigma_3 \log R\sigma_3 - n_1\varpi_1\sigma_1 \log R\sigma_1 - n_2\varpi_2\sigma_2 \log R\sigma_2. \end{cases}$$

Cette égalité conduit à la remarquable loi que voici :

A une température donnée, le rapport

$$\frac{p_3^{(n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)\sigma_3}}{p_1^{n_1\varpi_1\sigma_1}\,p_2^{n_2\varpi_2\sigma_2}}$$

a une valeur indépendante :
De la composition élémentaire du système;
Du volume qu'il occupe ou de la pression qu'il supporte;
Des gaz étrangers qu'il renferme.
Cette valeur dépend seulement de la température.

Adoptons maintenant la loi de Clausius. Nous aurons [Chap. III, égalité (29 *bis*)]

$$\varphi(T) = \frac{M}{T} + N\log T + Z,$$

avec [Chap. III, égalité (29)]

$$(3)\quad \begin{cases} M = \dfrac{E[(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)c_3 - n_1\varpi_1 c_1 - n_2\varpi_2 c_2]T_0 + (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)L_0}{R}, \\ N = \dfrac{E[(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)c_3 - n_1\varpi_1 c_1 - n_2\varpi_2 c_2]}{R}. \end{cases}$$

Mais nous avons aussi

$$C_1 = c_1 + \frac{R\sigma_1}{E},$$

$$C_2 = c_2 + \frac{R\sigma_2}{E},$$

$$C_3 = c_3 + \frac{R\sigma_3}{E}.$$

Si donc on pose

$$(4)\quad \mathfrak{N} = \frac{E}{R}[(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)C_3 - n_1\varpi_1 C_1 - n_2\varpi_2 C_2],$$

$$(5)\quad \mathfrak{Z} = Z + (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\log R\sigma_3 - n_1\varpi_1 \log R\sigma_1 - n_2\varpi_2 \log R\sigma_2,$$

l'égalité (2) deviendra

$$(6)\qquad \log\left[\frac{p_3^{(n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)\sigma_3}}{p_1^{n_1\varpi_1\sigma_1}\,p_2^{n_2\varpi_2\sigma_2}}\right] = \frac{M}{T} + \mathfrak{N}\log T + \mathfrak{L}.$$

Si l'on admet la loi de Delaroche et Bérard, on a

$$(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\,C_3 = n_1\varpi_1 C_1 + n_2\varpi_2 C_2;$$

l'égalité (4) devient

$$(4\,bis)\qquad \mathfrak{N} = 0$$

et l'égalité (6)

$$(6\,bis)\qquad \log\left[\frac{p_3^{(n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)\sigma_3}}{p_1^{n_1\varpi_1\sigma_1}\,p_2^{n_2\varpi_2\sigma_2}}\right] = \frac{M}{T} + \mathfrak{L}.$$

Nous pouvons faire subir une transformation à cette égalité dans le cas où les deux gaz G_1 et G_2 sont en proportion équivalente.

Soit Σ le volume spécifique qu'aurait le mélange gazeux si, *sans modifier sa composition,* on le portait à la température T_0 sous la pression P_0. Entre les trois pressions p_1, p_2, p_3, nous aurons les relations

$$p_1 + p_2 + p_3 = P,$$

$$p_1\sigma_1 + p_2\sigma_2 + p_3\sigma_3 = P\Sigma,$$

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{n_1\varpi_1\sigma_1}{n_2\varpi_2\sigma_2}.$$

Résolvons ces équations par rapport à p_1, p_2, p_3; nous aurons

$$(7)\qquad \left\{\begin{aligned} p_3 &= \frac{n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2 - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\,\Sigma}{n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2 - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\,\sigma_3}\;\frac{\sigma_3}{\Sigma}\;P,\\ p_1 &= \frac{n_1\varpi_1\sigma_1}{n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2 - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\,\sigma_3}\;\frac{\Sigma - \sigma_3}{\Sigma}\,P,\\ p_2 &= \frac{n_2\varpi_2\sigma_2}{n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2 - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\,\sigma_3}\;\frac{\Sigma - \sigma_3}{\Sigma}\,P. \end{aligned}\right.$$

Si l'on introduit ces valeurs de p_1, p_2, p_3 dans l'égalité (6 *bis*), on trouve

$$(8)\qquad \left\{\begin{aligned} &(n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2)\\ &\quad\times\log\left\{\frac{1}{P^{\Psi}}\,\frac{\Sigma^{\Psi}}{(\Sigma-\sigma_3)}\,[n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2 - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\,\Sigma]^{1-\Psi}\right\} = \frac{M}{T} - \mathfrak{L}. \end{aligned}\right.$$

avec

$$(9)\quad \left\{\begin{aligned} \mathfrak{X}' = \mathfrak{X} &+ [n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2 - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\sigma_3] \\ &\times \log[n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2 - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\sigma_3] \\ &- (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\sigma_3 \log(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\sigma_3. \end{aligned}\right.$$

Les formules (6 *bis*) et (9) se prêtent à d'intéressantes comparaisons avec les données de l'expérience.

Considérons un gaz pour lequel M soit positif; c'est ce qui a lieu pour tout gaz qui, à une température suffisamment basse, se produit avec dégagement de chaleur. Étudions les variations que présente la densité Δ de ce gaz partiellement dissocié, lorsqu'on le chauffe, sous pression constante, dans une enceinte où ses composants sont en proportion équivalente.

Soit a la masse de l'unité de volume d'air, sous la pression P_0 à la température T_0; soient δ_1, δ_2, δ_3 les densités des trois gaz G_1, G_2, G_3 par rapport à l'air. Nous aurons

$$(10)\quad \left\{\begin{aligned} \Delta &= \frac{1}{a\Sigma}, \\ \delta_1 &= \frac{1}{a\sigma_1}, \\ \delta_2 &= \frac{1}{a\sigma_2}, \\ \delta_3 &= \frac{1}{a\sigma_3}. \end{aligned}\right.$$

Si donc nous voulons étudier les variations de la densité Δ, il nous suffit d'étudier les variations du volume spécifique Σ, variations qui sont définies par l'égalité (8).

Lorsque la température absolue part de o, la densité Δ du mélange part de la densité δ_3 du composé non dissocié. Au fur et à mesure que la température s'élève, la densité Δ du mélange diminue, mais elle demeure toujours supérieure à la densité

$$\mathfrak{D} = \frac{n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2}{\dfrac{n_1\varpi_1}{\delta_1} + \dfrac{n_2\varpi_2}{\delta_2}}$$

que présenterait le mélange gazeux si la dissociation y était totale. Lorsque la température T croît au delà de toute limite, Δ tend vers une limite inférieure D qui est supérieure à $\mathfrak{D}$.

L'égalité (8) nous enseigne que, pour $T = 0$, $\log \frac{1}{\Sigma - \sigma_3}$ est infini comme $\frac{1}{T}$ ou que $\frac{1}{\Sigma - \sigma_3}$ est infini du même ordre que $e^{\frac{1}{T}}$. Par conséquent, $\frac{1}{(\Sigma - \sigma_3)^n}$ sera infini du même ordre que $e^{\frac{n}{T}}$, et, lorsque T tendra vers 0, le rapport

$$\frac{(\Sigma - \sigma_3)^n}{T^{n+1}}$$

tendra vers 0. On en conclut sans peine, en différentiant n fois l'égalité (8), que, pour $T = 0$, les quantités

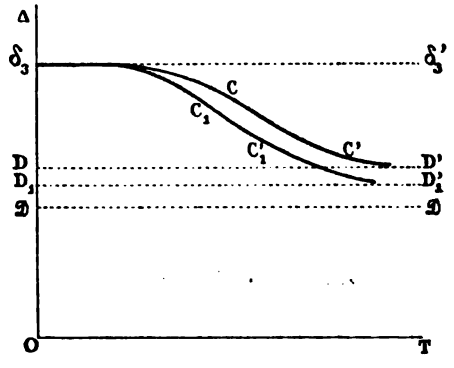
$$\frac{d\Sigma}{dT}, \quad \frac{d^2\Sigma}{dT^2}, \quad \ldots, \quad \frac{d^n\Sigma}{dT^n}, \quad \ldots$$

sont toutes égales à 0. Il en est de même des quantités

$$\frac{d\Delta}{dT}, \quad \frac{d^2\Delta}{dT^2}, \quad \ldots, \quad \frac{d^n\Delta}{dT^n}, \quad \ldots.$$

La courbe qui représente, pour une pression donnée P, les variations de la densité de vapeur du mélange gazeux a, pour $T = 0$, une tangente horizontale, et l'ordre de son contact avec cette tangente est infini. Physiquement, aux basses températures,

Fig. 1.



la courbe CC' (*fig.* 1) sera pendant longtemps sensiblement confondue avec la droite horizontale $\delta_3\delta'_3$.

A une même température, la densité Δ du mélange est d'autant plus faible que la pression P est elle-même plus faible. La limite D, vers laquelle tend cette densité lorsque la température croît au delà de toute limite, est aussi d'autant plus faible que la pression est plus faible. Si donc, au lieu de chauffer le mélange sous la pression constante P, on le chauffe sous la pression constante P_1, inférieure à P, la courbe CC′ sera remplacée par une courbe telle que $C_1 C'_1$.

Ces conséquences de la théorie peuvent être soumises au contrôle de l'expérience. La diminution que subit la densité de vapeur du perchlorure de phosphore lorsqu'on élève la température, les variations de sa coloration, qui se rapprochent de plus en plus de celle du chlore, ont fait depuis longtemps supposer aux chimistes que le pentachlorure de phosphore se dissociait, par une élévation graduelle de la température, en chlore et en protochlorure de phosphore. MM. Wanklyn et Robinson [1], en prouvant que les vapeurs de pentachlorure de phosphore, en se diffusant, s'enrichissaient en chlore et s'appauvrissaient en phosphore, ont mis cette vérité hors de contestation. Or les conclusions générales auxquelles nous venons de parvenir concordent bien avec l'allure générale des variations de la densité *apparente* des vapeurs du perchlorure de phosphore.

Mais on peut aller plus loin et comparer les résultats *numériques* fournis par la formule (8) aux résultats *numériques* fournis par l'expérience.

Dans le cas du perchlorure de phosphore, nous avons

$$\psi = \frac{1}{2},$$

$$n_1 \varpi_1 \sigma_1 + n_2 \varpi_2 \sigma_2 = 2(n_1 \varpi_1 + n_2 \varpi_2)\sigma_3,$$

et l'égalité (8) peut s'écrire

$$\log\left[\frac{1}{P}\frac{\Sigma(2\sigma_3 - \Sigma)}{(\Sigma - \sigma_3)^2}\right] = \frac{\mathfrak{M}}{T} + 3, \tag{11}$$

---

[1] WANKLYN et ROBINSON, *On diffusion of vapours; a means of distinguishing between apparent and real vapour-densities of chemical compounds* (*Proceedings of the Royal Society*, vol. XII, p. 507).

en posant

$$(12)\quad \begin{cases} \mathfrak{M} = \dfrac{2M}{(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)(n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2)}, \\ \mathfrak{Z} = \dfrac{2\mathfrak{L}'}{(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)(n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2)}. \end{cases}$$

Si l'on fait usage des égalités (10), l'égalité (11) deviendra

$$(13)\quad \log\left[\frac{\delta_3(2\Delta - \delta_3)}{(\delta_3 - \Delta)^2}\right] = \frac{\mathfrak{M}}{T} + \log P + \mathfrak{Z}.$$

Dans l'étude des variations des densités de vapeur, on a souvent à résoudre une équation de ce genre. M. J.-W. Gibbs [1] a donné une Table qui facilite cette résolution.

Posons

$$(14)\quad \rho = \frac{2\Delta}{\delta_3}.$$

L'égalité (13) pourra s'écrire

$$(15)\quad \log \text{vulg.}\ \frac{1000(\rho - 1)}{(2 - \rho)^2} = H,$$

avec

$$(16)\quad H = \frac{\mu}{T} + \log \text{vulg.}\ P + \zeta,$$

μ et ζ étant deux constantes dont les relations avec $\mathfrak{M}$ et $\mathfrak{Z}$ sont faciles à écrire. La Table suivante donne la valeur de ρ qui correspond à une valeur donnée de H.

---

[1] J.-W. Gibbs, *On the vapor-densities of peroxide of nitrogen, formic acid, acetic acid, and perchloride of phosphorus* (*American Journal of Science and Arts*, vol. XVIII, p. 277; 1879).

H.	ρ.	Diff.	H.	ρ.	Diff.
0,7	1,005	1	4,2	1,778	22
0,8	1,006	2	4,3	1,800	19
0,9	1,008	2	4,4	1,819	18
1,0	1,010	2	4,5	1,837	17
1,1	1,012	3	4,6	1,854	14
1,2	1,015	4	4,7	1,868	14
1,3	1,019	5	4,8	1,882	12
1,4	1,024	6	4,9	1,894	11
1,5	1,030	7	5,0	1,905	10
1,6	1,037	9	5,1	1,915	9
1,7	1,046	10	5,2	1,924	8
1,8	1,056	13	5,3	1,932	7
1,9	1,069	15	5,4	1,939	6
2,0	1,084	18	5,5	1,945	6
2,1	1,102	20	5,6	1,951	5
2,2	1,122	24	5,7	1,956	5
2,3	1,146	26	5,8	1,961	4
2,4	1,172	30	5,9	1,965	4
2,5	1,202	32	6,0	1,969	3
2,6	1,234	34	6,1	1,972	3
2,7	1,268	37	6,2	1,975	3
2,8	1,305	38	6,3	1,978	2
2,9	1,343	39	6,4	1,980	2
3,0	1,382	39	6,5	1,982	2
3,1	1,421	40	6,6	1,984	2
3,2	1,461	39	6,7	1,986	1
3,3	1,500	37	6,8	1,987	2
3,4	1,537	37	6,9	1,989	1
3,5	1,574	35	7,0	1,990	
3,6	1,609	33	7,2	1,992	
3,7	1,642	31	7,4	1,994	
3,8	1,673	30	7,6	1,995	
3,9	1,703	27	7,8	1,996	
4,0	1,730	25	8,0	1,997	
4,1	1,755	23	9,0	1,999	
4,2	1,778				

Lorsque la valeur de la quantité H, dans le calcul de laquelle P est évalué en millimètres de mercure, est connue, cette Table fait connaître la valeur de ρ, et l'égalité (14) donne alors sans peine la valeur de Δ.

Dans le cas du perchlorure de phosphore, M. Gibbs a trouvé

que l'on pouvait prendre

$$\mu = 5441, \qquad \zeta = -14,553.$$

Ces coefficients, reportés dans l'égalité (16), permettent de calculer la valeur de H et, par le moyen de la Table précédente, la valeur de Δ pour chacune des températures et des pressions auxquelles correspondent les expériences de Mitscherlich, de Cahours, de Wurtz et de MM. Troost et Hautefeuille.

Dans le Tableau suivant, les valeurs calculées de Δ sont mises en présence des valeurs trouvées par les observateurs. Nous avons seulement laissé de côté une des densités observées par Cahours, densité que M. Gibbs, à la suite d'un examen approfondi, a été amené à rejeter.

Densités du perchlorure de mercure.

Température centigrade.	Pression P.	Densité Δ' observée.	Densité Δ calculée.	$\Delta' - \Delta$.	Observateurs.
129	165	6,31	6,55	—0,24	Wurtz.
129	170	6,63	6,56	+0,07	»
129	191	6,18	6,59	—0,41	»
137	148	6,47	6,31	+0,16	»
137	234	6,42	6,47	—0.05	»
137	243	6,46	6,48	—0,02	»
137	269	6,54	6,51	+0,03	»
137	281	6,48	6,53	—0,05	»
144,7	247	6,14	6,287	—0,147	Troost et Hautefeuille.
145	307	6,33	6,36	—0,03	Wurtz.
145	311	6,70	6,37	+0,33	»
145	391	6,55	6,45	+0,10	»
148,6	244	5,964	6,169	—0,205	Troost et Hautefeuille.
150,1	225	5,886	6,086	—0,200	»
154,7	221	5,619	5,926	—0,307	»
167,6	221,8	5,415	5,456	—0,041	»
175,8	253,7	5,235	5,223	—0,012	»
178,5	227,2	5,150	5,053	—0,097	»
190	758	4,987	5,368	—0,381	Cahours.
200	758	4,851	5,018	—0,167	»
208	760	4,73	4,752	—0,021	»
222	753	4,85	4,344	+0,506	Mitscherlich.
230	746	4,302	4,159	+0,142	Cahours.
250	751	3,991	3,862	+0,129	»
274	755	3,84	3,701	+0,139	»
288	763	3,67	3,659	+0,011	»
289	760	3,69	3,656	+0,034	»
300	765	3,654	3,637	+0,017	»
327	754	3,656	3,614	+0,042	»
336	760	3,656	3,610	+0,046	»

Si l'on observe la difficulté des expériences, l'incertitude où l'on est relativement à la pureté du perchlorure de phosphore, enfin et surtout les écarts considérables que le trichlorure de phosphore, d'après les expériences de MM. Troost et Hautefeuille, et vraisemblablement aussi le pentachlorure de phosphore, présentent par rapport à l'état gazeux parfait, on s'expliquera sans peine que le degré de concordance présenté par ces deux séries de nombres puisse être regardé comme satisfaisant.

Wurtz a également déterminé la densité apparente du perchlorure de phosphore dans un excès de chlore. Les nombres trouvés peuvent servir à contrôler la formule (6 *bis*). Ce contrôle a été fait par M. Gibbs dans le Mémoire d'où est extrait le Tableau précédent. Les écarts entre les résultats de l'expérience et les résultats de la théorie sont du même ordre que ceux que l'on constate dans ce Tableau.

Pour apprécier la valeur qu'il convient d'attribuer au contrôle présenté par le Tableau précédent, il ne faut point omettre la remarque suivante :

La constante M, et par conséquent la constante μ, est liée, d'après l'équation (3), à la chaleur de formation du composé et aux chaleurs spécifiques du composé et de ses éléments. Par conséquent, pour soumettre la théorie de M. J.-W. Gibbs à un contrôle rigoureux, il faudrait, dans les calculs, introduire la valeur de μ formée au moyen de ces données physiques. Malheureusement ces données ne sont pas connues. On donne donc à μ la valeur qui convient le mieux à la représentation des faits d'expérience, ce qui rend *a priori* plus probable l'accord entre les nombres observés et les nombres calculés et, partant, diminue la valeur de cet accord.

Nous venons de voir que, si l'on chauffe du perchlorure de phosphore, la densité de vapeur apparente de ce corps dépend, dans une large mesure, de la température et de la pression. La cause de ces grandes variations de densité de vapeur est aujourd'hui reconnue : la chaleur dissocie partiellement le pentachlorure de phosphore en chlore et en trichlorure de phosphore.

D'autres corps présentent des variations de densité de vapeur analogues à des températures où, certainement, la chaleur ne les décompose pas. Ce phénomène a d'abord été constaté par

Cahours dans l'étude de l'acide acétique. L'acide formique, l'acide hypoazotique, le soufre, l'iode présentent des densités de vapeur qui subissent de grandes diminutions lorsqu'on élève la température.

On peut se contenter de dire que ces vapeurs s'écartent beaucoup de l'état de gaz parfait, où la densité est indépendante de la température et de la pression; ce n'est pas là interpréter le phénomène, c'est simplement le constater.

On peut aussi donner de ces grandes variations des densités de vapeur une interprétation à l'examen de laquelle nous allons nous arrêter quelque temps.

Les vapeurs qui présentent ces variations ne doivent pas être considérées comme un corps chimiquement simple, mais comme un mélange de deux gaz dont l'un est polymère de l'autre. Le polymère, formé avec dégagement de chaleur aux températures où l'on opère, se dissocie d'autant plus complètement que la température est plus élevée. Chacun des deux gaz qui forment le mélange ne s'écarte que faiblement de l'état parfait; sa densité varie peu avec la température. Mais, grâce à la dissociation graduellement croissante, la densité de vapeur du mélange subit de notables diminutions lorsque la température s'élève.

Ainsi le dédoublement subi par l'acide hypoazotique serait représenté par la formule

$$Az^2O^4 = 2AzO^2;$$

le dédoublement subi par l'acide acétique serait représenté par la formule

$$C^4H^8O^4 = 2C^2H^4O^2;$$

le dédoublement subi par l'acide formique serait représenté par la formule

$$C^2H^4O^4 = 2CH^2O^2;$$

le dédoublement subi par la vapeur d'iode serait représenté par la formule

$$I^2 = 2I;$$

enfin la modification subie par la vapeur de soufre serait représentée par la formule

$$S^6 = 3S^2.$$

Cette interprétation est-elle vraisemblable?

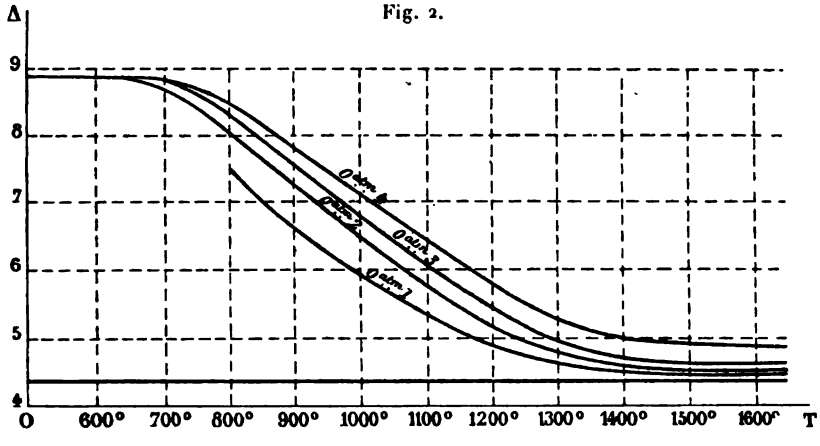
L'existence de polymères gazeux d'une substance gazeuse n'a rien d'exceptionnel en Chimie; l'acétylène se polymérise pour donner la vapeur de benzine; l'oxygène se polymérise pour donner l'ozone.

Mais, dans les cas que nous venons de citer et dans une foule d'autres, grâce à l'existence de faux équilibres, nous pouvons, dans les mêmes conditions de température et de pression, observer le gaz et son polymère. Au contraire, pour les vapeurs dont nous venons de parler, à chaque température et à chaque pression, on ne peut observer qu'un seul état, comme si les faux équilibres étaient impossibles.

Toutefois, on ne saurait évidemment décider si les grandes variations des densités de vapeur anormales peuvent être attribuées à la dissociation d'un gaz peu éloigné de l'état parfait, qu'en montrant que la théorie de M. J.-W. Gibbs donne une représentation satisfaisante de ces variations.

Tout d'abord, l'allure générale des variations que présente la densité de vapeur d'une combinaison dissociable, allure que la *fig.* 1 nous met sous les yeux, concorde bien avec les résultats généraux obtenus par les expérimentateurs en étudiant les varia-

Fig. 2.



tions des densités de vapeur anormales. La densité décroît lorsque la température s'élève, d'autant plus vite que la pression est plus faible.

On se rendra compte de la concordance de cette allure générale, en comparant à la *fig.* 1 la *fig.* 2 qui représente, d'après MM. Crafts et Meyer, les variations de la densité de vapeur de l'iode entre 600° et 1600° sous des pressions respectivement égales à $0^{atm},1$, $0^{atm},2$, $0^{atm},3$, $0^{atm},4$.

Mais on peut désirer un contrôle plus complet et vouloir comparer les valeurs numériques de la densité fournies par la théorie de M. J.-W. Gibbs aux valeurs numériques déterminées par l'expérience.

Trois corps : l'acide hypoazotique, l'acide acétique, l'acide formique ont été l'objet de déterminations de la densité de vapeur assez précises et assez soignées pour qu'il soit possible de les faire servir à ce contrôle. C'est ce qu'a fait M. J.-W. Gibbs dans un Mémoire important que nous avons déjà cité (¹).

La polymérisation hypothétique des trois corps dont nous venons de parler est accompagnée d'une condensation égale à $\frac{1}{2}$, en sorte que, pour calculer, à chaque température, leur densité de vapeur, on peut faire usage de la Table qui nous a déjà servi à déterminer la densité de vapeur du perchlorure de phosphore.

Pour l'acide hypoazotique, M. J.-W. Gibbs a trouvé que, dans la quantité H définie par l'égalité (16), on devait poser

$$\mu = 3118,6,$$
$$\zeta = -9,451.$$

Au moyen de ces nombres, M. J.-W. Gibbs a calculé la densité de vapeur Δ de l'acide hypoazotique pour les températures et les pressions qui correspondent aux observations de Mitscherlich, de R. Müller, de MM. Deville et Troost, et il a comparé les résultats obtenus aux nombres trouvés par ces expérimentateurs. Voici le Tableau qui résume cette comparaison :

(¹) J.-W. Gibbs, *On the vapor-densities of peroxide of nitrogen, formic acid, acetic acid, and perchloride of phosphorus* (*American Journal of Science and Arts*, vol. XVIII, p. 277; 1879).

Température centigrade.	Pression P.	Densité Δ' observée.	Densité Δ calculée.	Δ' − Δ.	Observateurs.
26,7	760	2,65	2,676	—0,026	Deville et Troost.
27,6	760	2,70	2,661	+0,04	»
28	751	2,70	2,652	+0,05	R. Müller.
28,7	760	2,80	2,642	+0,16	Deville et Troost.
32	748	2,65	2,582	+0,07	R. Müller.
34,6	760	2,62	2,539	+0,08	Deville et Troost.
35,2	760	2,66	2,528	+0,13	»
35,4	760	2,53	2,524	+0,006	»
39,8	760	2,46	2,443	+0,017	»
45,1	760	2,40	2,342	+0,06	»
49,6	760	2,27	2,256	+0,014	»
49,7	760	2,34	2,255	+0,09	»
52	757	2,26	2,211	+0,05	R. Müller.
55,0	760	2,20	2,157	+0,04	Deville et Troost.
60,2	760	2,08	2,067	+0,013	»
66,0	760	2,03	1,976	+0,05	»
68,8	760	1,99	1,937	+0,05	»
70	754,5	1,95	1,919	+0,03	R. Müller.
70,0	760	1,92	1,920	0,000	Deville et Troost.
77,4	760	1,85	1,833	+0,02	»
79	748	1,84	1,814	+0,03	R. Müller.
80,6	760	1,80	1,801	—0,001	Deville et Troost.
84,4	760	1,83	1,768	+0,06	»
90,0	760	1,72	1,728	—0,008	»
100,0	760	1,71	1,677	+0,03	»
100,1	760	1,68	1,676	+0,004	»
100,25	760	1,72	1,677	+0,04	Mitscherlich.
111,3	760	1,65	1,641	+0,009	Deville et Troost.
121,5	760	1,62	1,622	—0,002	»
121,8	760	1,64	1,622	+0,02	»
135,0	760	1,60	1,607	—0,007	»
151,8	760	1,50	1,598	—0,10	»
154,0	760	1,58	1,597	—0,017	»
183,2	760	1,57	1,592	—0,022	»

Depuis la publication des Mémoires de M. Gibbs, MM. E. et L. Natanson [1] ont effectué, par des méthodes très précises, une série de déterminations de la densité de vapeur de l'acide hypoazotique et ont comparé les résultats de ces déterminations aux

[1] E. et L. Natanson, *Wiedemann's Annalen*, t. XXIV, p. 454, 1885; t. XXVII, p. 606; 1886.

nombres fournis par la formule de M. J.-W. Gibbs. Voici le Tableau qui résume cette comparaison. La pression y est évaluée en millimètres.

Température centigrade.	Pression P.	Densite Δ' observee.	Densité Δ calculée.	Δ' − Δ.
0°	3,796	2,483	2,545	—0,062
»	8,657	2,674	2,720	—0,046
»	17,248	2,820	2,837	—0,017
»	25,066	2,903	2,897	—0,011
+ 21,00	49,160	2,684	2,664	+0,020
»	51,696	2,702	2,676	+0,026
»	55,650	2,712	2,691	+0,021
»	63,917	2,746	2,717	+0,029
+ 49,70	2,680	1,663	1,635	+0,008
»	9,375	1,788	1,782	+0,006
»	18,269	1,894	1,901	—0,007
»	26,137	1,963	1,977	—0,014
»	49,774	2,144	2,143	+0,001
+ 73,70	4,965	1,632	1,616	+0,016
»	6,475	1,643	1,625	+0,018
»	6,772	1,632	1,626	+0,006
»	10,747	1,660	1,646	+0,014
»	16,459	1,679	1,672	+0,007
»	30,204	1,740	1,729	+0,011
»	50,414	1,813	1,801	+0,012
»	63,327	1,853	1,840	—0,013
+ 99,80	1,173	1,603	1,592	+0,011
»	2,322	1,602	1,594	+0,008
»	1,480	1,611	1,595	+0,006
»	5,735	1,608	1,597	+0,011
»	7,957	1,618	1,600	+0,018
»	8,967	1,611	1,602	+0,009
»	10,865	1,614	1,604	+0,010
»	11,658	1,612	1,605	+0,007
»	14,229	1,614	1,608	+0,006
»	20,224	1,626	1,616	+0,010
»	37,127	1,647	1,636	+0,011
»	52,098	1,665	1,652	+0,013
»	62,531	1,682	1,668	—0,016
»	67,538	1,682	1,669	—0,013
»	73,251	1,693	1,676	—0,017
+ 129,90	3,599	1,599	1,592	+0,007
»	6,694	1,600	1,592	+0,008
»	7,873	1,599	1,593	+0,006

Température centigrade.	Pression P.	Densité Δ' observée.	Densité Δ calculée.	Δ' − Δ.
+ 129,90	10,477	1,598	1,594	+0,004
»	15,246	1,595	1,595	0,000
»	16,971	1,600	1,596	+0,004
»	24,786	1,601	1,598	+0,003
»	29,795	1,597	1,599	+0,002
»	55,079	1,608	1,607	+0,001
+ 151,40	11,798	1,591	1,592	—0,001
»	47,541	1,588	1,596	—0,008
»	66,622	1,593	1,598	—0,005

L'acide acétique est le premier corps sur lequel de grandes variations de densité de vapeur aient été observées par Cahours. Ces variations ont été étudiées par Cahours, par M. Hortsmann, par Bineau et par M. Troost. M. Gibbs a trouvé que, pour les représenter, on devait, dans la quantité H, définie par l'égalité (16), poser

$$\mu = 3520,$$
$$\zeta = -11,349.$$

Au moyen de ces nombres, M. J.-W. Gibbs a calculé la densité de vapeur Δ de l'acide acétique pour les températures et les pressions qui correspondent aux observations de Cahours, de M. Hortsmann, de Bineau, de M. Troost, et il a comparé les résultats obtenus aux nombres trouvés par ces observateurs. Voici le Tableau qui résume cette comparaison :

Température centigrade.	Pression P.	Densité Δ' observée.	Densité Δ calculée.	Δ' − Δ.	Observateur.
11,5	3,76	3,88	3,84	+0,04	Bineau.
12	2,44	3,80	3,77	+0,03	»
12,0	5,23	3,92	3,88	+0,04	»
19	2,60	3,66	3,65	+0,01	»
19,0	4,00	3,75	3,73	+0,02	»
20,0	5,56	3,77	3,77	0,00	»
20,0	8,55	3,88	3,84	+0,04	»
20,5	10,03	3,95	3,86	+0,09	»
21,0	4,06	3,72	3,70	+0,02	»
22	2,70	3,56	3,59	—0,03	»
22,0	8,64	3,85	3,82	+0,03	»
24,0	5,75	3,70	3,71	—0,01	»
28,0	10,03	3,75	3,75	0,00	»
30,0	6,03	3,60	3,60	—0,01	»

Température centigrade.	Pression P.	Densité Δ' observée.	Densité Δ calculée.	Δ' − Δ.	Observateur.
35,0	11,19	3,64	3,65	—0,01	Bineau.
36,5	11,32	3,62	3,63	—0,01	»
124	760	3,194	3,185	+0,009	Cahours.
125	760	3,20	3,168	+0,03	»
128,6	752,9	3,079	3,103	—0,024	Hortsmann.
129	633	2,88	3,03	—0,15	Bineau.
130	30,6	2,10	2,21	—0,11	Troost.
130	59,7	2,12	2,31	—0,19	»
130	760	3,105	3,082	+0,023	Cahours.
131,3	754,1	3,070	3,055	+0,015	Hortsmann.
132	757	2,86	3,05	—0,19	Bineau.
134,3	748,8	3,108	3,001	+0,107	Hortsmann.
140	760	2,907	2,910	—0,003	Cahours.
145	760	2,75	2,826	—0,08	»
150	760	2,75	2,747	—0,00	»
152	760	2,727	2,716	+0,011	»
160	760	2,48	2,601	—0,12	»
160,3	751,3	2,649	2,594	+0,055	Hortsmann.
162	760	2,583	2,575	+0,008	Cahours.
165,0	754,1	2,647	2,534	+0,113	Hortsmann.
170	760	2,480	2,477	+0,003	Cahours.
171	760	2,42	2,466	—0,05	»
180	760	2,438	2,376	+0,062	»
181,7	749,7	2,419	2,359	+0,060	Hortsmann.
190	760	2,378	2,298	+0,080	Cahours.
200	760	2,248	2,239	+0,009	»
219	760	2,132	2,165	+0,033	»
230	760	2,09	2,139	—0,05	»
231	760	2,101	2,137	+0,036	»
233,5	752,8	2,195	2,132	+0,063	Hortsmann.
240	760	2,090	2,122	—0,032	Cahours.
250	760	2,08	2,111	—0,03	»
252	760	2,090	2,108	—0,018	»
254,6	747,2	2,135	2,105	+0,030	Hortsmann.
272	760	2,088	2,093	—0,005	Cahours.
280	760	2,08	2,089	—0,01	»
295	760	2,083	2,084	—0,001	»
300	760	2,08	2,082	0,00	»
308	760	2,085	2,081	+0,004	»
321	760	2,083	2,079	+0,004	»
327	760	2,085	2,078	+0,007	»
336	760	2,082	2,077	+0,005	»
338	760	2,08	2,077	0,00	»

Les densités de vapeur de l'acide acétique ont fait l'objet d'observations très suivies de la part de M. Naumann. Voici les résultats obtenus en comparant les nombres trouvés par M. Naumann et les nombres calculés par M. J.-W. Gibbs :

Température centigrade.	Pression P.	Densité Δ' observée.	Densité Δ calculée.	Δ' − Δ.
78	66	3,04	3,26	−0,22
»	80	3,06	3,32	−0,26
»	113	3,25	3,42	−0,17
»	137	3,26	3,48	−0,22
»	149	3,34	3,50	−0,16
»	164	3,41	3,53	−0,12
100	77,7	2,66	2,85	−0,19
»	92	2,76	2,91	−0,15
»	130	2,94	3,03	−0,09
»	156	2,98	3,09	−0,11
»	168	3,01	3,12	−0,11
»	186	3,06	3,15	−0,09
»	232	3,12	3,23	−0,11
»	258	3,17	3,26	−0,09
»	342,3	3,37	3,35	+0,02
»	393,5	3,44	3,39	+0,05
110	84	2,49	2,68	−0,19
»	98,5	2,61	2,73	−0,12
»	138,5	2,78	2,85	−0,07
»	166,5	2,81	2,92	−0,11
»	197	2,91	2,97	−0,06
»	359,3	3,22	3,18	+0,04
»	411	3,31	3,23	+0,08
120	89,5	2,37	2,53	−0,16
»	106	2,46	2,58	−0,12
»	149	2,60	2,69	−0,09
»	180	2,61	2,75	−0,14
»	209	2,75	2,81	−0,06
»	252	2,94	2,87	+0,07
»	377,5	3,06	3,02	+0,04
»	432	3,14	3,06	+0,08
130	93	2,32	2,40	−0,08
»	112,5	2,34	2,45	−0,11
»	157,5	2,47	2,55	−0,08
»	188	2,50	2,60	−0,10
»	201	2,56	2,62	−0,06
»	221	2,61	2,65	−0,04
»	274	2,68	2,72	−0,04

Température centigrade.	Pression P.	Densité Δ' observée.	Densité Δ calculée.	Δ' − Δ.
130	398,5	2,89	2,85	+0,04
»	455	2,97	2,90	+0,07
140	98	2,24	2,31	−0,07
»	117,3	2,27	2,35	−0,08
»	168,2	2,32	2,43	−0,11
»	199	2,40	2,47	−0,07
»	232	2,50	2,52	−0,02
»	287,5	2,54	2,58	−0,04
»	417,5	2,75	2,70	+0,05
»	477	2,82	2,75	+0,07
150	103	2,16	2,24	−0,08
»	175	2,26	2,33	−0,07
»	208,2	2,29	2,37	−0,08
»	243	2,40	2,41	−0,01
»	300	2,46	2,44	+0,02
»	436,5	2,63	2,57	+0,06
»	498,5	2,68	2,61	+0,07
160	129,2	2,11	2,21	−0,10
»	253	2,31	2,32	−0,01
185	110,5	2,11	2,12	−0,01
»	191,5	2,13	2,15	−0,02
»	230	2,14	2,17	−0,03
»	269	2,22	2,18	+0,04
»	335	2,23	2,21	+0,02
»	382	2,25	2,22	+0,03
»	495	2,31	2,26	+0,05
»	565	2,36	2,28	+0,08

La densité de vapeur de l'acide formique a été étudiée par Bineau. M. J.-W. Gibbs a trouvé que, pour représenter les résultats de ses observations, il fallait, dans la quantité H, définie par l'égalité (16), faire

$$\mu = 3800,$$
$$\zeta = -12,641.$$

Le Tableau suivant met en présence les résultats des observations de Bineau et les résultats des calculs de M. J.-W. Gibbs :

Température centigrade.	Pression P.	Densité Δ' observée.	Densité Δ calculée.	Δ' − Δ.
10,5	14,69	3,23	3,01	+0,22
11,0	7,26	3,02	2,95	+0,07
12,5	15,20	3,14	3,00	+0,14

Température centigrade.	Pression P.	Densité Δ' observée.	Densité Δ calculée.	Δ' – Δ.
15,0	7,60	2,93	2,90	+0,03
15,5	2,61	2,86	2,72	+0,14
16,0	15,97	3,13	2,97	+0,16
18,5	23,53	3,23	2,98	+0,25
20,0	2,72	2,80	2,64	+0,16
20,0	7,99	2,85	2,84	+0,01
20,0	16,67	2,94	2,93	+0,01
22,0	25,17	3,05	2,95	+0,10
24,5	17,39	2,86	2,88	—0,02
29,0	27,40	2,83	2,88	—0,05
30,0	18,28	2,76	2,81	—0,05
30,5	8,83	2,69	2,67	+0,02
31,5	3,04	2,60	2,40	+0,20
34,5	28,94	2,77	2,82	—0,05
99,5	557	2,34	2,39	—0,05
99,5	602	2,40	2,41	—0,01
99,5	619	2,41	2,41	0,00
99,5	641	2,42	2,42	0,00
99,5	662	2,44	2,43	+0,01
99,5	676	2,46	2,44	+0,02
99,5	684	2,49	2,44	+0,05
99,5	690	2,52	2,44	+0,08
101,0	650	2,41	2,40	+0,01
101,0	693	2,44	2,42	+0,02
105,0	630	2,32	2,33	—0,01
105,0	650	2,33	2,34	—0,01
105,0	691	2,35	2,35	0,00
108	687	2,31	2,30	+0,01
111	608	2,13	2,22	—0,09
111,5	690	2,25	2,25	0,00
111,5	690	2,22	2,25	—0,03
115	655	2,13	2,18	—0,05
115,5	640	2,16	2,16	0,00
115,5	649	2,20	2,17	+0,03
117,5	688	2,13	2,15	—0,02
118,0	650	2,13	2,13	0,00
118,0	655	2,14	2,13	+0,01
124,5	640	2,04	2,03	+0,01
124,5	670	2,06	2,04	+0,02
125,5	645	2,03	2,02	+0,01
125,5	687	2,05	2,03	+0,02
184,0	750	1,68	1,64	+0,04
216,0	690	1,61	1,60	+0,01

Nous avons reproduit ici les nombreuses épreuves que M. J.-W. Gibbs a fait subir à ses formules, non seulement parce que le Mémoire de M. Gibbs est peu connu en France, mais aussi parce que de cette masse considérable de concordances numériques une conclusion nous semble ressortir avec une singulière puissance; cette conclusion peut se formuler ainsi :

Il y a complet accord entre la théorie de la dissociation des gaz parfaits donnée par M. Gibbs et la théorie qui regarde les grandes variations des densités de vapeur comme dues à la dissociation d'un polymère gazeux en gaz moins condensés, tous ces gaz étant voisins de l'état parfait. Si l'on admet celle que l'on voudra de ces deux théories, les nombres que nous venons de citer serviront de vérification à l'autre théorie.

CHAPITRE V.

CAPACITÉ CALORIFIQUE D'UNE COMBINAISON GAZEUSE DISSOCIABLE.

§ I. — Capacité calorifique sous volume constant.

Conservons les notations qui ont servi dans les deux Chapitres précédents. Soit un gaz composé G_3 susceptible de se dissocier en deux autres gaz G_1 et G_2. A la température T, le système dont le volume est V et dont la masse totale est $\mathfrak{M}$ renferme des masses m_1, m_2, m_3 des gaz G_1, G_2, G_3.

Si l'on élève de dT la température du système en maintenant constant son volume V, il dégage une quantité de chaleur dQ. Si nous posons

$$dQ = -\mathfrak{M}\gamma\, dT, \tag{1}$$

γ sera la *capacité calorifique sous volume constant* du système. Nous nous proposons de savoir comment, pour chaque volume constant V, cette quantité varie avec la température T.

Lorsqu'on élève le système de la température T à la température $(T + dT)$, une certaine masse dm_3 du gaz G_3 prend naissance aux dépens des gaz G_1 et G_2. Si l'on désigne par L la chaleur de formation du gaz G_3 sous le volume constant V, à la

température T; par c_1, c_2, c_3 les valeurs spécifiques sous volume constant des gaz G_1, G_2, G_3, à la température T, on a évidemment

$$(2) \qquad dQ = L\,dm_3 - (m_1 c_1 + m_2 c_2 + m_3 c_3)\,dT,$$

et, par conséquent,

$$(3) \qquad \mathfrak{M}\gamma = m_1 c_1 + m_2 c_2 + m_3 c_3 - L\frac{dm_3}{dT}.$$

Cette égalité est générale; elle demeure vraie, même si l'un des deux gaz composants est en excès par rapport à l'autre. Supposons maintenant que *ni l'un ni l'autre des deux gaz composants ne soit en excès*. Nous aurons [Chapitre III, égalités (35)]

$$m_1 = \frac{n_1\varpi_1}{n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2}(\mathfrak{M} - m_3),$$

$$m_2 = \frac{n_2\varpi_2}{n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2}(\mathfrak{M} - m_3)$$

et l'égalité (3) pourra s'écrire

$$(4) \qquad \left\{ \begin{aligned} \mathfrak{M}\gamma = {} & \frac{n_1\varpi_1 c_1 + n_2\varpi_2 c_2}{n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2}\mathfrak{M} \\ & - \frac{(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)c_3 - n_1\varpi_1 c_1 - n_2\varpi_2 c_2}{n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2} m_3 - L\frac{dm_3}{dT}. \end{aligned} \right.$$

Pour pousser plus loin, nous admettrons que *les chaleurs spécifiques des gaz parfaits sont indépendantes de la température*. Alors nous pourrons faire usage des égalités (29) et (30) du Chapitre III, qui nous donneront

$$(5) \qquad \left\{ \begin{aligned} \mathfrak{M}\gamma = {} & \frac{n_1\varpi_1 c_1 + n_2\varpi_2 c_2}{n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2}\mathfrak{M} \\ & - \frac{RN}{E(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)} m_3 - \frac{R(M - NT)}{E(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)}\frac{dm_3}{dT}. \end{aligned} \right.$$

C'est cette expression que nous allons discuter.

1. Le gaz composé est formé sans condensation. — Si nous adoptons la loi de Delaroche et Bérard, nous avons

$$N = (n_1\varpi_1\sigma_1 + n_3\varpi_2\sigma_2)\psi,$$

en sorte que, pour les gaz formés sans condensation,

$$N = 0.$$

L'égalité (5) devient alors

$$(6)\qquad \mathfrak{M}\gamma = \frac{n_1\varpi_1 c_1 + n_2\varpi_2 c_2}{n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2}\mathfrak{M} - \frac{RM}{E(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)}\frac{dm_3}{dT}.$$

On a d'ailleurs, en vertu de la loi de Delaroche et Bérard,

$$n_1\varpi_1 c_1 + n_2\varpi_2 c_2 = (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)c_3,$$

en sorte que l'égalité (6) peut encore s'écrire

$$(6\ bis)\qquad \mathfrak{M}\gamma = \mathfrak{M}c_3 - \frac{RM}{E(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)}\frac{dm_3}{dT}.$$

La quantité $\frac{dm_3}{dT}$ est donnée par l'égalité (36) du Chapitre III, qui devient, pour les gaz formés sans condensation,

$$(7)\qquad \frac{dm_3}{dT} = -\frac{1}{n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2}\frac{m_3(\mathfrak{M} - m_3)}{\mathfrak{M}}\frac{M}{T^2}.$$

On aura donc, au lieu de l'égalité (6 *bis*),

$$(6\ ter)\qquad \left\{\begin{aligned} \mathfrak{M}\gamma = \mathfrak{M}c_3 &+ \frac{1}{(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)(n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2)} \\ &\times \frac{R}{E}\frac{m_3(\mathfrak{M} - m_3)}{\mathfrak{M}}\frac{M^2}{T^2}. \end{aligned}\right.$$

Si l'on observe que la masse m_3 du gaz G_3 ne peut jamais excéder la masse totale $\mathfrak{M}$ du système, on obtient ce premier résultat :

La capacité calorifique apparente, sous volume constant, d'une combinaison dissociable formée sans condensation n'est jamais inférieure à la véritable chaleur spécifique sous volume constant de la combinaison.

L'égalité (7) peut s'écrire

$$\left(\frac{1}{m_3} + \frac{1}{\mathfrak{M} - m_3}\right)\frac{dm_3}{dT} = -\frac{M}{n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2}\frac{1}{T^2}.$$

Cette égalité, intégrée, donne

$$\frac{m_3}{\mathfrak{M} - m_3} = Ce^{\frac{M}{n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2}\frac{1}{T}},$$

C étant une constante.

Elle nous montre que, lorsque T tend vers o, $(\mathfrak{M} - m_3)$ tend vers o, et qu'il en est de même du rapport de $(\mathfrak{M} - m_3)$ à une puissance quelconque de T. L'égalité (6 *ter*) nous donne donc la conclusion suivante :

A la température du zéro absolu; la capacité calorifique apparente, sous volume constant, de la combinaison est égale à sa chaleur spécifique sous volume constant.

L'égalité (6 *ter*) donne

$$\mathfrak{M}\frac{d\gamma}{dT} = \frac{M^2}{(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)(n_1\varpi_2\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2)} \times \frac{R}{E}\left[\frac{\mathfrak{M} - 2m_3}{\mathfrak{M}}\frac{dm_3}{dT} - \frac{2m_3(\mathfrak{M} - m_3)}{\mathfrak{M}}\frac{1}{T^3}\right].$$

Elle nous montre immédiatement que $\frac{d\gamma}{dT}$ est égal à o à la température du zéro absolu. Si, dans cette égalité, on y remplaçait $\frac{dm_3}{dT}$ par sa valeur (7), on démontrerait de même que $\frac{d^2\gamma}{dT^2}$ est égal à o à la température du zéro absolu. En continuant de la sorte, on démontrerait de proche en proche la proposition suivante :

A la température du zéro absolu, toutes les dérivées par rapport à la température de la capacité calorifique apparente, sous volume constant, sont égales à o.

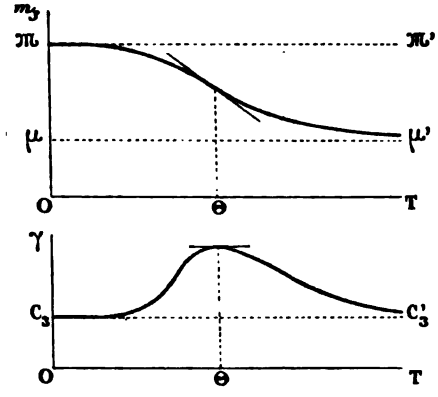
Lorsque la température croît au delà de toute limite, les deux quantités m_3 et $(\mathfrak{M} - m_3)$ tendent vers des limites finies. L'égalité (6 *ter*) nous montre alors que, *lorsque la température croît au delà de toute limite, la capacité calorifique apparente sous volume constant de la combinaison tend vers la véritable chaleur spécifique sous volume constant de cette combinaison.*

Ces résultats nous montrent que, lorsque la température croît de o à $+\infty$, la capacité calorifique sous volume constant γ doit passer par un maximum. La formule (6) nous montre que, si M est positif, le maximum de γ a lieu à la température où $\frac{dm_3}{dT}$ est minimum; et que, si M est négatif, le maximum de γ a lieu à la

température où $\frac{dm_3}{dT}$ est maximum. En d'autres termes, *le maximum de* γ *a toujours lieu à la température où la courbe qui représente les variations de* m_3 *en fonction de* T *présente une inflexion.*

Si M est positif, les deux courbes qui représentent m_3 en fonc-

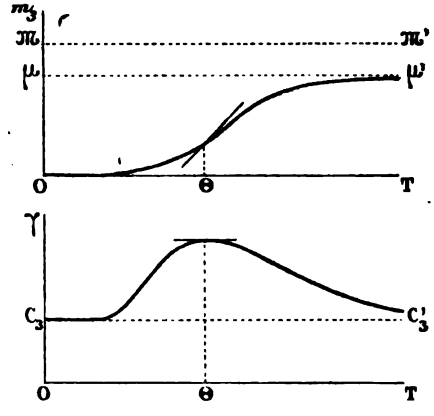
Fig. 3.



tion de T et γ en fonction de T ont l'aspect présenté par la *fig.* 3.

Si M est négatif, les deux courbes qui représentent m_3 en fonc-

Fig. 4.



tion de T et γ en fonction de T ont l'aspect présenté par la *fig.* 4.

Ajoutons enfin cette dernière proposition : *La capacité calo-*

rifique apparente, sous volume constant, d'une combinaison dissociable formée sans condensation ne dépend que de la température, et non de la valeur du volume sous lequel la combinaison est maintenue.

2. Le gaz composé est formé avec condensation. — Dans ce cas général, nous distinguerons deux cas particuliers, selon que la quantité M est positive ou négative.

A. *La quantité* M *est positive.* — Rappelons d'abord quelle est, dans ce cas, d'après ce qui a été trouvé au Chapitre III, la marche de la dissociation.

Au zéro absolu, la dissociation est nulle; m_3 a la valeur $\mathfrak{M}$.

La dissociation augmente ensuite, et m_3 diminue jusqu'au moment où la température atteint la valeur

$$\theta = \frac{M}{N}.$$

La quantité m_3 présente alors une valeur minima μ. Puis la masse m_3 augmente de nouveau et tend vers $\mathfrak{M}$ lorsque la température T croît au delà de toute limite.

L'égalité [Chapitre III, égalité (36)]

$$(8)\qquad \frac{dm_3}{dT} = -\frac{1}{n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2}\,\frac{m_3(\mathfrak{M} - m_3)}{m_3 + (1-\psi)(\mathfrak{M} - m_3)}\left(\frac{M}{T^2} - \frac{N}{T}\right)$$

peut s'écrire

$$\left(\frac{1}{\mathfrak{M} - m_3} + \frac{1-\psi}{m_3}\right)\frac{dm_3}{dT} = -\frac{1}{n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2}\left(\frac{M}{T^2} - \frac{N}{T}\right);$$

intégrée, elle donne

$$\frac{m_3^{1-\psi}}{\mathfrak{M} - m_3} = C e^{\frac{1}{n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2}\left(\frac{M}{T} + N\log T\right)},$$

C étant une constante.

Lorsque T tend vers o, $(\mathfrak{M} - m_3)$ tend vers o, et il en est de même du rapport de $(\mathfrak{M} - m_3)$ à une puissance quelconque de T.

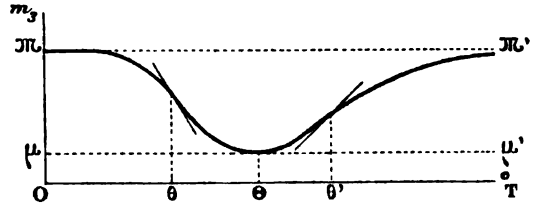
L'égalité (8) montre alors que, lorsque T tend vers o, $\frac{dm_3}{dT}$

tend vers o. En différentiant l'égalité (8) par rapport à T, et en remplaçant, au second membre, $\frac{dm_3}{dT}$ par sa valeur (8), on démontrera que, lorsque T tend vers o, $\frac{d^2 m_3}{dT^2}$ tend vers o.

En continuant ainsi, on démontrera de proche en proche que, *lorsque* T *tend vers* o, *toutes les dérivées de* m_3 *par rapport à* T *tendent vers* o.

La courbe qui représente les variations de m_3 en fonction

Fig. 5.



de T (*fig.* 5) touche, pour T = o, la droite $m_3 = \mathfrak{M}$, et a avec elle un contact infini.

Passons maintenant à la discussion de la capacité calorifique apparente γ.

Nous savons [Chap. III, égalités (29)] que l'on a

$$N = \frac{E}{R}[(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)c_3 - n_1\varpi_1 c_1 - n_2\varpi_2 c_2].$$

Moyennant cette égalité, l'égalité (5) devient

$$(9) \quad \mathfrak{M}\gamma = \mathfrak{M}c_3 + \frac{R}{E(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)}\left[N(\mathfrak{M} - m_3) + (NT - M)\frac{dm_3}{dT}\right].$$

La quantité $(\mathfrak{M} - m_3)$ n'est jamais négative; d'après l'égalité (8), la quantité $\frac{dm_3}{dT}$ a toujours le même signe que (NT — M). *La capacité calorifique apparente* γ *de la combinaison n'est donc jamais inférieure à sa chaleur spécifique vraie* c_3.

Lorsque T part de o, $(\mathfrak{M} - m_3)$ et $\frac{dm_3}{dT}$ partent de o; γ part de c_3. On démontrerait sans aucune peine que toutes les dérivées de γ par rapport à T partent en même temps de o. Ainsi, *pour*

$T = 0$, *la courbe qui représente les valeurs de* γ *en fonction de* T *touche la droite* $\gamma = c_3$ *et a avec elle un contact infini.*

Lorsque T croît au delà de toute limite, $(\mathfrak{M} - m_3)$ tend vers 0. D'après l'égalité (8), il en est de même de $(NT - M)\frac{dm_3}{dT}$. Donc, *lorsque* T *croît au delà de toute limite,* γ *tend asymptotiquement vers* c_3.

L'égalité (9) donne

$$\mathfrak{M}\frac{d\gamma}{dT} = \frac{R}{E(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)}(NT - M)\frac{d^2 m_3}{dT^2}.$$

Les zéros de la quantité $\frac{d\gamma}{dT}$ sont donc :

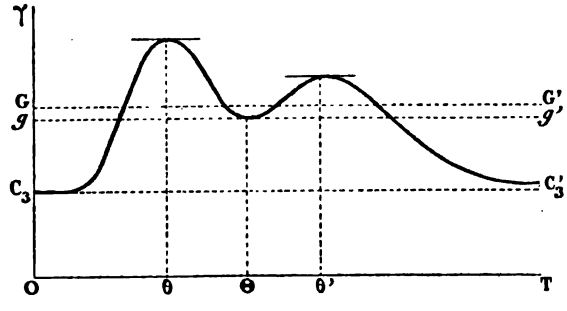
1° La température

$$T = \Theta = \frac{M}{N};$$

2° Les zéros de $\frac{d^2 m_3}{dT^2}$.

Si l'on considère la courbe représentée par la *fig.* 6, on observe qu'elle présente deux points d'inflexion : l'un à une tem-

Fig. 6.



pérature θ inférieure à Θ; l'autre à une température θ' supérieure à Θ. Ces deux températures θ, θ' sont les zéros de $\frac{d^2 m_3}{dT^2}$.

Les zéros de $\frac{d\gamma}{dT}$, rangés par ordre de grandeur croissante, sont donc

$$\theta, \quad \Theta, \quad \theta'.$$

Il est aisé de prouver que les deux températures θ, θ' correspon-

dent à des maxima de γ, tandis que la température Θ correspond à un minimum de γ.

Soit g cette valeur minima de γ. Comme, pour $T = \Theta$,

$$\frac{dm_3}{dT} = 0,$$

nous aurons, en vertu de l'égalité (9),

$$\mathfrak{M} g = \mathfrak{M} c_3 + \frac{RN}{E(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)}(\mathfrak{M} - \mu).$$

Mais on a [Chap. III, égalité (29)]

$$N = \frac{E}{R}[(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)c_3 - n_1\varpi_1 c_1 - n_2\varpi_2 c_2].$$

On a donc

$$\mathfrak{M} g = \mathfrak{M}\frac{n_1\varpi_1 c_1 + n_2\varpi_2 c_2}{n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2} - \frac{RN}{E(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)}\mu.$$

La quantité

$$G = \frac{n_1\varpi_1 c_1 + n_2\varpi_2 c_2}{n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2}$$

serait la capacité calorifique sous volume constant du mélange entièrement dissocié des deux gaz G_1, G_2. D'après la loi de Delaroche et Bérard, cette quantité est supérieure à c_3. On a d'ailleurs

$$G - c_3 = \frac{RN}{E(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)}.$$

On a donc, pour déterminer g, l'équation très simple

$$\frac{G - g}{G - c_3} = \frac{\mu}{\mathfrak{M} - \mu}.$$

Cette égalité nous montre que g est inférieur à G.

La courbe qui représente les valeurs de γ en fonction de T aura, d'après ce que nous venons de dire, une forme analogue à celle que représente la *fig.* 6.

B. *La quantité* M *est négative.* — Dans ce cas, que nous enseigne l'étude de la dissociation?

Lorsque T part de 0, m_3 part de 0; il en est de même du rap-

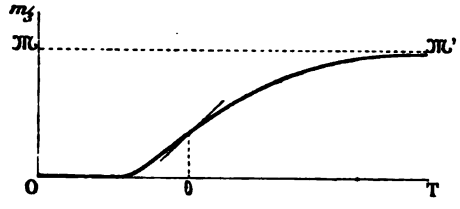
port de m_3 à une puissance quelconque de T et d'une dérivée d'ordre quelconque de m_3 par rapport à T.

m_3 croît sans cesse avec T.

Lorsque T croît au delà de toute limite, m_3 tend vers $\mathfrak{M}$.

La courbe qui représente les variations de m_3 en fonction de T

Fig. 7.



a la forme donnée par la *fig.* 7. A la température θ, elle présente un point d'inflexion.

L'égalité (9) nous montre alors que, pour T = o, on a

$$\gamma = c_3 + \frac{RN}{E(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)} = \frac{n_1\varpi_1 c_1 + n_2\varpi_2 c_2}{n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2} = G.$$

A la température du zéro absolu, la capacité calorifique apparente est égale à la capacité calorifique moyenne du mélange des deux gaz composants, capacité qui est supérieure à la chaleur spécifique de la combinaison.

On démontre sans peine que, *pour* T = o, *la courbe qui représente* γ *touche la droite* γ = G *et a, avec elle, un contact infini.*

Lorsque T *croît au delà de toute limite, la capacité calorifique apparente tend asymptotiquement vers la chaleur spécifique* c_3 *de la combinaison.*

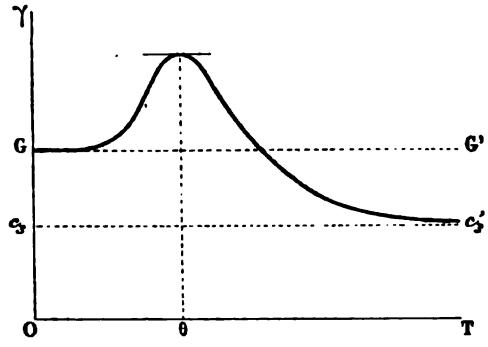
L'égalité (9) donne

$$\mathfrak{M}\frac{d\gamma}{dT} = \frac{R}{E(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)}(NT - M)\frac{d^2 m_3}{dT^2}.$$

Nous voyons donc que $\frac{d\gamma}{dT}$ n'a d'autre zéro que le zéro de $\frac{d^2 m_3}{dT^2}$, c'est-à-dire que T = θ. *A cette température* T = θ, γ *passe par un maximum.*

Enfin l'égalité (9) nous montre que γ *ne devient jamais inférieur à* c_3.

Fig. 8.



Les variations de γ sont représentées par une courbe semblable à celle que présente la *fig.* 8.

§ II. — Capacité calorifique sous pression constante.

Considérons un système qui, à la température T, renferme des masses m_1, m_2, m_3 des trois gaz G_1, G_2, G_3. La pression du système est P. Sans faire varier cette pression, on élève de dT la température du système. Ce système dégage une quantité de chaleur dQ. Si l'on désigne par $\mathfrak{M}$ sa masse totale, on pourra écrire

$$dQ = -\mathfrak{M}\,\Gamma\,dT. \tag{10}$$

Γ sera *la capacité calorifique du système à la température* T *sous la pression constante* P.

Lorsque, sous la pression constante P, la température croît de dT, les trois masses m_1, m_2, m_3 augmentent de dm_1, dm_2, dm_3. Si l'on désigne par C_1, C_2, C_3 les chaleurs spécifiques des gaz G_1, G_2, G_3, sous la pression P, à la température T; par λ la chaleur de formation du gaz G_3 dans les mêmes conditions, on aura

$$dQ = \lambda\,dm_3 - (m_1 C_1 + m_2 C_2 + m_3 C_3)\,dT. \tag{11}$$

La comparaison des égalités (10) et (11) nous donne

$$\mathfrak{M}\,\Gamma = m_1 C_1 + m_2 C_2 + m_3 C_3 - \lambda \frac{dm_3}{dT}. \tag{12}$$

Cette égalité (12) est générale; elle demeure vraie, même si l'un des deux gaz composants est en excès par rapport à l'autre. Supposons maintenant qu'*aucun des deux gaz composants ne soit en excès*. Nous aurons [Chap. III, égalités (35)]

$$m_1 = \frac{n_1 \varpi_1}{n_1 \varpi_1 + n_2 \varpi_2} (\mathfrak{M} - m_3),$$

$$m_2 = \frac{n_2 \varpi_2}{n_1 \varpi_1 + n_2 \varpi_2} (\mathfrak{M} - m_3)$$

et l'égalité (12) deviendra

$$(13) \quad \left\{ \begin{aligned} \mathfrak{M}\Gamma = & \frac{n_1 \varpi_1 C_1 + n_2 \varpi_2 C_2}{n_1 \varpi_1 + n_2 \varpi_2} \mathfrak{M} \\ & + \frac{(n_1 \varpi_1 + n_2 \varpi_2) C_3 - n_1 \varpi_1 C_1 - n_2 \varpi_2 C_2}{n_1 \varpi_1 + n_2 \varpi_2} m_3 - \lambda \frac{dm_3}{dT}. \end{aligned} \right.$$

Admettons maintenant que la loi de Delaroche et Bérard soit exacte.

Dès lors, nous aurons

$$n_1 \varpi_1 C_1 + n_2 \varpi_2 C_2 = (n_1 \varpi_1 + n_2 \varpi_2) C_3$$

et, de plus, la quantité λ sera, comme nous l'avons vu au Chapitre III, une simple constante. L'égalité (13) prendra la forme très simple

$$(14) \qquad \mathfrak{M}(\Gamma - C_3) = -\lambda \frac{dm_3}{dT},$$

que nous allons maintenant discuter.

Nous avons vu, au Chapitre III, que les deux quantités λ et $\frac{dm_3}{dT}$ étaient toujours de signe contraire. Nous pouvons donc, avant toute discussion, énoncer le théorème suivant :

La capacité calorifique sous pression constante (apparente) d'une combinaison dissociable n'est jamais inférieure à la chaleur spécifique sous pression constante (vraie) de ce corps.

Pour étudier plus complètement les variations de la quantité Γ, nous supposerons que *la chaleur spécifique sous pression constante d'un gaz parfait est indépendante de la température.*

Nous aurons alors [Chap. III, égalité (35)]

$$(15)\quad \frac{dm_3}{dT} = -\frac{1}{n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2}\,\frac{m_3(\mathfrak{M} - m_3)(\mathfrak{M} - \psi m_3)}{(1-\psi)\mathfrak{M}^2 + 2\psi^2 m_3(\mathfrak{M} - m_3)}\,\frac{M}{T^2}$$

et [Chap. III, égalité (34)]

$$(16)\qquad \lambda = \frac{1}{n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2}\,\frac{M}{N}.$$

1. La quantité M est positive. — Alors, d'après l'égalité (16), à toute température, le gaz G_3 est formé avec dégagement de chaleur.

Lorsque la température absolue T part de o pour croître au delà de toute limite, m_3 part de $\mathfrak{M}$ et tend vers une certaine limite μ, différente de o; ce sont des résultats qui ont été établis au Chapitre III.

L'égalité (15) peut s'écrire

$$\left(\frac{1-\psi}{m_3} + \frac{1}{\mathfrak{M} - m_3} + \frac{\psi^2}{\mathfrak{M} - \psi m_3}\right)\frac{dm_3}{dT} = -\frac{1}{n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2}\,\frac{M}{T^2}.$$

Cette égalité, intégrée, donne

$$(17)\qquad \frac{m_3^{1-\psi}}{(\mathfrak{M} - m_3)(\mathfrak{M} - \psi m_3)^{\psi}} = C e^{\frac{1}{n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2}\frac{M}{T}},$$

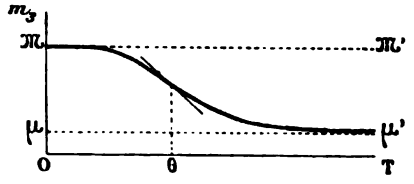
C étant une constante.

La quantité M étant positive, cette égalité montre que, lorsque T tend vers o, non seulement $(\mathfrak{M} - m_3)$ tend vers o, mais encore le rapport de $(\mathfrak{M} - m_3)$ à une puissance quelconque de T tend vers o. L'égalité (15) montre alors que, lorsque T tend vers o, $\frac{dm_3}{dT}$ tend vers o. Différentions l'égalité (15) par rapport à T, et, au second membre, remplaçons $\frac{dm_3}{dT}$ par sa valeur (15). Nous trouverons sans peine que, lorsque T tend vers o, $\frac{d^2m_3}{dT^2}$ tend aussi vers o. Nous démontrerions ainsi de proche en proche que, lorsque T tend vers o, les dérivées de tous les ordres de m_3 par rapport à T tendent vers o. Pour $T = o$, la courbe qui représente les variations de m_3 touche la droite $m_3 = \mathfrak{M}$ et a avec elle un contact d'ordre infini.

Cette courbe a la forme représentée par la *fig.* 9. A la température $T = \theta$, elle présente un point d'inflexion.

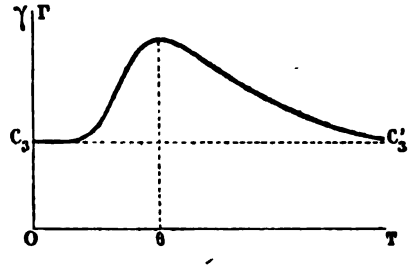
L'égalité (14) nous fait maintenant aisément connaître les va-

Fig. 9.



riations de Γ. Pour $T = 0$, la courbe qui représente Γ touche la droite $\Gamma = C_3$ et a, avec elle, un contact d'ordre infini. Cette courbe s'élève ensuite. A la température $T = \theta$, Γ passe par un

Fig. 10.



maximum. Puis Γ décroît et tend de nouveau vers C_3 lorsque T croît au delà de toute limite.

La courbe qui représente les variations de Γ a la forme donnée par la *fig.* 10.

2. La quantité M est négative. — Dans ce cas, le gaz G_3 est formé avec absorption de chaleur.

Lorsque T part de o pour croître au delà de toute limite, m_3 part de o et tend vers une limite μ inférieure à $\mathfrak{M}_3$. Pour $T = 0$, la courbe qui représente les valeurs de m_3 a, avec la droite $m_3 = 0$, un contact d'ordre infini. Pour $T = \theta$, cette courbe a un point d'inflexion (*fig.* 11).

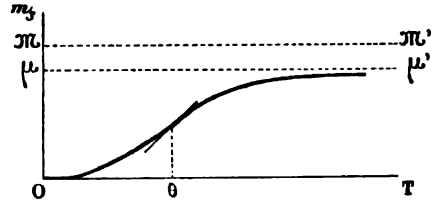
La quantité Γ varie comme dans le cas précédent.

Les données qui nous permettent de comparer à l'expérience les résultats obtenus par la théorie précédente sont peu nom-

breuses; elles sont toutes contenues dans deux Mémoires de MM. Berthelot et Ogier (¹).

MM. Berthelot et Ogier ont constaté que la chaleur spécifique de l'acide hypoazotique, sous la pression constante de l'atmosphère, a une valeur beaucoup plus grande que celle que l'on obtiendrait en traitant l'acide hypoazotique comme un gaz parfait

Fig. 11.



et en lui appliquant la loi de Delaroche et Bérard. Ce premier résultat s'accorde bien avec la théorie précédente.

Ils ont constaté en outre que, lorsque la température varie depuis le point d'ébullition de l'acide hypoazotique jusqu'à +150°, la chaleur spécifique de l'acide hypoazotique diminue lorsque la température s'élève. La diminution, d'abord très rapide, devient de moins en moins rapide lorsque la température croît. La chaleur spécifique tend vers une valeur limite qui est peu supérieure à la chaleur spécifique théorique de l'acide hypoazotique.

Ces résultats seront conformes à ceux de la théorie précédente, si la quantité que nous avons appelée $\frac{dm_3}{dT}$ est constamment décroissante, pour l'acide hypoazotique, entre les limites de température que nous venons de définir. C'est en effet le résultat que l'on déduirait des formules de M. Gibbs.

Au delà de 150°, la chaleur spécifique du gaz hypoazotique augmente avec la température. Regnault avait déjà constaté un phénomène analogue pour l'acide carbonique. L'accroissement de la chaleur spécifique de l'acide hypoazotique est plus rapide que l'accroissement de chaleur spécifique de l'acide carbonique;

(¹) Berthelot et Ogier, *Sur la chaleur spécifique du gaz hypoazotique* (*Annales de Chimie et de Physique*, 5e série, t. XXX, p. 382; 1883). — *Sur la chaleur spécifique de l'acide acétique gazeux* (*Ibid.*, p. 400).

mais il ne surpasse pas l'accroissement analogue que présente la chaleur spécifique de certaines vapeurs organiques, telles que l'éther acétique ou la benzine.

Cette nouvelle variation n'est pas prévue par la théorie précédente ; la théorie précédente, en traitant les deux corps Az^2O^4 et AzO^2 comme des gaz parfaits, ne peut évidemment avoir d'autre prétention que de représenter les variations les plus considérables des propriétés physiques de l'acide hypoazotique. Les perturbations de second ordre lui échappent.

La chaleur spécifique de la vapeur d'acide acétique donnerait lieu à des remarques analogues de tout point aux précédentes.

§ III. — La chaleur spécifique sous volume constant des gaz parfaits dépend-elle de la température ?

L'examen de cette question importante trouve naturellement place dans ce Chapitre.

Tous les physiciens sont d'accord pour faire entrer dans la définition d'un gaz parfait les énoncés des deux lois suivantes :

1° A toute température, le gaz suit la loi de Mariotte ;

2° L'énergie interne du gaz ne dépend que de la température.

Ces deux lois, comme nous l'avons montré au Chapitre I, entraînent la conséquence suivante :

La chaleur spécifique sous volume constant d'un gaz parfait ne peut dépendre que de la température.

Clausius et, après lui, de nombreux physiciens, ont proposé d'adjoindre, aux deux lois que nous venons de citer, la loi suivante :

La chaleur spécifique sous volume constant d'un gaz parfait est indépendante de la température, en sorte qu'elle se réduit à une constante.

Ont-ils le droit de modifier, de restreindre ainsi la définition des gaz parfaits ? Théoriquement, oui ; car une définition est essentiellement arbitraire, et il leur est loisible de déterminer, comme bon leur semble, le sens du mot *gaz parfait*. Mais, en restreignant la signification de ce terme, ils courent le risque que les propriétés des gaz parfaits ne représentent plus, ni exactement, ni approximativement, les propriétés d'aucun gaz réel.

La question qui se pose alors est la suivante :

Les gaz qui obéissent sensiblement aux deux premières lois obéissent-ils aussi, d'une manière approchée, à la troisième loi?

Les expériences de Regnault avaient répondu affirmativement à cette question; Regnault avait constaté que la chaleur spécifique *sous pression constante* d'un gaz sensiblement parfait était sensiblement indépendante de la température, et la relation de Robert Mayer [Chap. I, égalité (19 *bis*)] permettait d'étendre cette loi aux chaleurs spécifiques sous volume constant.

Mais les expériences de Regnault avaient été confinées entre des limites de température peu étendues : 0° et + 200°; ne pouvait-il pas se faire que la chaleur spécifique sous volume constant, sensiblement indépendante de la température entre 0° et 200°, se mît à varier d'une manière beaucoup plus accentuée à des températures beaucoup plus élevées? L'hypothèse n'était ni impossible, ni improbable; MM. Mallard et Le Chatelier, à la suite de travaux considérables (1), ont affirmé qu'elle était conforme à la nature des choses.

Néanmoins, nous avons continué, dans la présente étude, à admettre l'exactitude de la loi de Clausius. L'importance du Mémoire dans lequel MM. Mallard et Le Chatelier ont pensé mettre cette loi en désaccord avec les faits, l'autorité scientifique de ses auteurs, nous font une obligation de donner ici, au moins d'une manière succincte, les raisons qui ont dicté notre choix et nous ont fait conserver, en la loi de Clausius, la confiance que les physiciens lui accordaient autrefois.

La méthode employée par MM. Mallard et Le Chatelier pour déterminer les chaleurs spécifiques des gaz à des températures élevées n'est pas une méthode directe; c'est une méthode indirecte, fondée sur l'étude de la température de combustion d'un mélange explosif.

---

(1) MALLARD et LE CHATELIER, *Études sur la combustion des mélanges gazeux explosifs* (*Journal de Physique*, 2e série, t. I, p. 173; 1882). — *Recherches expérimentales et théoriques sur la combustion des mélanges gazeux explosifs* (*Annales des Mines*, 8e série, t. IV, p. 274-568; 1883).

Donnons succinctement une idée de cette méthode.

Deux gaz simples, G_1 et G_2, peuvent, en se combinant, former un gaz G_3. A la température T, on prend un mélange renfermant des masses m_1, m_2, m_3 de ces trois gaz. Ce mélange est à l'état de faux équilibre. Une explosion se produit, qui le fait passer à l'état de véritable équilibre. L'explosion a lieu en vase clos. Ce vase est assez mauvais conducteur pour que, jusqu'aux premiers instants qui suivent l'explosion, le phénomène puisse être considéré comme adiabatique.

Immédiatement après l'explosion, le système renferme des masses m'_1, m'_2, m'_3 des gaz G_1, G_2, G_3, et la température a une valeur T′ que nous nommerons *température de combustion*.

Le phénomène de l'explosion pouvant être regardé comme adiabatique et se produisant d'ailleurs dans une enceinte dont le volume est constant, ce phénomène ne doit entraîner aucune variation d'énergie interne.

Or, au début du phénomène, on a [Chap. II, égalité (7)]

$$\begin{aligned} EU = \quad & m_1\left[\chi_1(T) - T\frac{d\chi_1(T)}{dT}\right] \\ & + m_2\left[\chi_2(T) - T\frac{d\chi_2(T)}{dT}\right] \\ & + m_3\left[\chi_3(T) - T\frac{d\chi_3(T)}{dT}\right], \end{aligned}$$

ce que nous écrirons

$$U = m_1\,\mho_1(T) + m_2\,\mho_2(T) + m_3\,\mho_3(T).$$

A la fin du phénomène, on a

$$U' = m'_1\,\mho_1(T') + m'_2\,\mho_2(T') + m'_3\,\mho_3(T').$$

On a donc, entre la température initiale T et la température de combustion T′, la relation

$$\begin{aligned} & m_1\,\mho_1(T) + m_2\,\mho_2(T) + m_3\,\mho_3(T) \\ & = m'_1\,\mho_1(T') + m'_2\,\mho_2(T') + m'_3\,\mho_3(T'). \end{aligned}$$

Cette égalité peut s'écrire

$$(1)\quad \left\{\begin{aligned} & m'_1[\mho_1(T') - \mho_1(T)] + m'_2[\mho_2(T') - \mho_2(T)] \\ & \qquad + m'_3[\mho_3(T') - \mho_3(T)] \\ & - [(m'_1 - m_1)\mho_1(T) + (m'_2 - m_2)\mho_2(T) + (m'_3 - m_3)\mho_3(T)] = 0. \end{aligned}\right.$$

[illegible] T′) les chaleurs spécifiques [illegible] tre les températures T et T′, [illegible] demment

$$[illegible](T') - \mathfrak{V}_1(T),$$
$$[illegible](T') - \mathfrak{V}_2(T),$$
$$[illegible](T') - \mathfrak{V}_3(T).$$

$$[illegible](T) + (m'_3 - m_3)\,\mathfrak{V}_3(T)$$
$$[illegible]\,\mathfrak{V}_1(T) - \frac{n_2\varpi_1\,\mathfrak{V}_2(T)}{[illegible]\varpi_2}(m'_3 - m_3)$$

[illegible] du gaz G_3, sous volume con-

$$[illegible](T, T')](T'-T) = \lambda(T)(m'_3 - m_3).$$

[illegible] rme particulièrement simple, [illegible] T′, *la combinaison est inté-*

[illegible] té, que les deux gaz G_1 et G_2 [illegible] alente. Le système renferme [illegible] l'on a

$$[illegible] + M_1,$$

$$[illegible]\, m_3 + \frac{n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2}{n_2\varpi_2}\, m_2.$$

$$[illegible]\,\varpi_1 + n_2\varpi_2}{n_2\varpi_2}\, m_2\Big)\, \mathfrak{S}_3(T, T')(T'-T)$$

[illegible] ation du gaz G_3, à la tempé- [illegible] i, pour diverses valeurs des [illegible] la température de combus- [illegible] duire les chaleurs spécifiques

moyennes, sous volume constant, entre les températures T et T′ du gaz composé G_3 et de celui des deux gaz composants G_1 que l'on a mis en excès.

Cette formule, remarquons-le bien, suppose que *la dissociation du gaz* G_3 *est nulle ou négligeable à la température* T′.

MM. Mallard et Le Chatelier empruntent les valeurs de $\lambda(T)$ aux expériences de M. Berthelot, et l'objet de leurs expériences est de déterminer la température de combustion T′.

A cet effet, le système est muni d'un manomètre qui, aussitôt après l'explosion, marque une pression P′. On laisse le mélange gazeux se refroidir et revenir à la température T; la pression marquée par le manomètre a alors une valeur P. Si, pendant ce refroidissement, le mélange gazeux n'a subi aucune modification physique ni chimique, on a

$$\frac{P'}{P} = \frac{T'}{T}.$$

L'exactitude de cette relation, remarquons-le bien de nouveau, suppose qu'*entre les températures* T′ *et* T *le mélange gazeux n'a subi aucune modification physique ni chimique.*

Tels sont les principes de la méthode employée par MM. Mallard et Le Chatelier. L'emploi de cette méthode exige que l'on soit assuré que *le gaz composé ne présente pas de dissociation sensible aux températures voisines de celle que produit la combustion.*

Or, affirmer cette proposition, c'était aller directement à l'encontre des idées que la plupart des chimistes avaient admises à la suite des travaux d'H. Sainte-Claire Deville. De ces travaux, la plupart de ceux qui s'occupent de Mécanique chimique avaient cru pouvoir conclure que, dans tous les phénomènes de combustion, une notable fraction des gaz qui brûlent échappent à la combinaison. Examinons la méthode qui a conduit MM. Mallard et Le Chatelier à admettre l'hypothèse contraire.

On laisse se refroidir l'enceinte dans laquelle s'est produite l'explosion, et l'on note aux temps h, h', h'', ..., suffisamment rapprochés les uns des autres, les valeurs p, p', p'', ... de la pression marquée par le manomètre.

Une fois ces indications obtenues, on cherche à représenter

par une formule empirique la relation qui lie la pression p au temps h.

Deux cas se présentent :

1° On trouve une fonction analytique de h qui représente les valeurs de p pendant toute la durée du refroidissement du système. On en conclut alors qu'aucune modification chimique ne se produit dans le système de la température T à la température T'. Si la dissociation du gaz G_3 est sensiblement nulle à la température T, elle est sensiblement nulle aussi à la température T'.

2° Pour représenter les valeurs de p en fonction de h, on est amené à prendre deux fonctions analytiques différentes de h : l'une représente les valeurs de p jusqu'à la valeur η de h, l'autre représente les valeurs de p pour les valeurs de h supérieures à η. Soit ϖ la pression qui correspond à la valeur η de h. Soit τ la température que donne la formule

$$\frac{\tau}{T} = \frac{\varpi}{P}.$$

MM. Mallard et Le Chatelier admettent que, dans ce cas, le mélange gazeux se comporte d'une manière différente aux températures inférieures à τ et aux températures supérieures à τ. Par exemple, la dissociation du gaz G_3, nulle jusqu'à la température τ, se manifestera aux températures supérieures à τ.

C'est par cette méthode que MM. Mallard et Le Chatelier arrivent aux conclusions suivantes, qui diffèrent profondément de celles auxquelles s'étaient arrêtés H. Sainte-Claire Deville et les chimistes de son école :

La vapeur d'eau ne présente pas de dissociation appréciable jusqu'à la température de 3350° C. La dissociation de l'acide carbonique ne commence qu'à 1800° C.

Cette méthode pour apprécier les limites de température entre lesquelles un composé gazeux ne présente pas de dissociation notable est le point cardinal de tous les raisonnements de MM. Mallard et Le Chatelier; est-elle légitime? toutes leurs conclusions sont exactes; est-elle illégitime? tout l'édifice qu'ils ont élevé s'écroule. Examinons donc si cette méthode mérite la confiance que lui accordent MM. Mallard et Le Chatelier.

Évidemment, si, entre les températures T' et τ, d'une part, et

les températures τ et T, d'autre part, se produisaient dans le système deux transformations différentes, réglées par des équations d'équilibre différentes, la loi qui lie la chute de pression au temps serait représentée, pour les époques correspondant à ces deux intervalles, par des expressions analytiques différentes. Mais il n'en est pas ainsi. La dissociation du gaz G_3 n'est pas identiquement nulle à toute température inférieure à τ pour devenir différente de o seulement à partir de la température τ. Que l'on suppose la chaleur spécifique, sous volume constant, d'un gaz parfait, constante ou variable avec la température, la théorie ne nous met pas moins nettement en évidence ce résultat : lorsqu'on chauffe le gaz G_3 sous volume constant, la fraction dissociée est, dans toute l'échelle des températures, une fonction analytique de la température. Il en résulte que, lorsqu'un pareil système se refroidit, il doit exister une loi analytique unique reliant la chute de pression au temps. Il nous semble donc que la méthode proposée par MM. Mallard et Le Chatelier pour reconnaître la présence ou l'absence de dissociation dans un système ne saurait être regardée comme légitime.

Nous pensons donc que, tant qu'aucune autre méthode ne sera venue confirmer les résultats obtenus par celle-là, il sera raisonnable de s'en tenir à l'opinion de H. Sainte-Claire Deville et des chimistes de son école; de regarder la dissociation comme très notable aux températures où MM. Mallard et Le Chatelier la considèrent comme négligeable, et, par conséquent, de conserver l'hypothèse de Clausius sur l'invariabilité des chaleurs spécifiques des gaz.

Remarquons, toutefois, que, si la variabilité de la chaleur spécifique des gaz parfaits avec la température était un jour prouvée par des expériences non soumises aux critiques que l'on peut adresser à la méthode de MM. Mallard et Le Chatelier, il s'en faudrait bien que la théorie de la dissociation que nous venons d'exposer disparût complètement; en premier lieu, les principaux résultats de cette théorie ont été établis sans supposer que les chaleurs spécifiques fussent indépendantes de la température; en second lieu, les formules qui supposent la constance des chaleurs spécifiques demeureraient valables entre des limites étendues de température.

CHAPITRE VI.

LA VAPORISATION.

§ I. — Généralités.

Après avoir appliqué les propriétés des gaz parfaits et de leurs mélanges à l'étude des changements d'état qui peuvent se produire au sein des systèmes homogènes gazeux, nous allons nous occuper de systèmes plus complexes, dont une partie est à l'état gazeux tandis que le reste est à l'état solide ou liquide.

C'est l'étude de pareils systèmes qui nous conduira à la théorie des phénomènes de vaporisation ou bien encore à l'étude de la plupart des phénomènes de dissociation.

Nous supposerons que les divers corps solides ou liquides que renferme le système forment un ensemble *parfaitement hétérogène;* c'est-à-dire qu'ils sont divisés en une ou plusieurs masses, occupant des espaces distincts, l'état de chacune de ces masses étant défini uniquement par la connaissance de la température et du volume spécifique du corps qui la forme. Le cas où ces divers corps solides ou liquides pourraient se mélanger ou se dissoudre les uns dans les autres en proportion variable sera entièrement laissé de côté dans la présente étude; nous en réservons l'examen pour un travail ultérieur.

Imaginons, par exemple, un système ainsi formé; il contient :

1° Un mélange gazeux homogène renfermant une masse m_1 du gaz G_1 et une masse m_2 du gaz G_2;

2° Un corps solide ou liquide dont la masse est m_3.

Cherchons l'expression du potentiel thermodynamique de ce système sous la pression constante P.

Considérons séparément la masse solide ou liquide et le mélange gazeux. On voit sans peine que le potentiel thermodynamique cherché sera la somme des potentiels thermodynamiques sous la pression constante P de ces deux masses.

Soit $\Psi'_3(P, T)$ le potentiel thermodynamique sous la pression constante p, à la température T, de l'unité de masse du corps solide considéré; le potentiel thermodynamique de la masse m_3

sera

$$m_3\Psi'_3(P, T).$$

Dans le mélange homogène gazeux, la pression partielle du gaz G_1 est p_1 et la pression partielle du gaz G_2 est p_2. Soit $\Psi'_1(p_1, T)$ le potentiel thermodynamique sous la pression constante p_1, à la température T, de l'unité de masse du gaz G_1; soit de même $\Psi'_2(p_2, T)$ le potentiel thermodynamique sous la pression constante p_2, à la température T, de l'unité de masse du gaz G_2. D'après la définition, donnée au Chapitre II, du mot *mélange de gaz parfaits,* nous aurons, pour le potentiel thermodynamique du mélange considéré, sous la pression constante P, l'expression

$$m_1\Psi'_1(p_1, T) + m_2\Psi'_2(p_2, T),$$

et ainsi le potentiel thermodynamique cherché aura pour valeur

$$(1) \qquad \Phi = m_1\Psi'_1(p_1, T) + m_2\Psi'_2(p_2, T) + m_3\Psi'_3(P, T),$$

avec

$$P = p_1 + p_2.$$

L'emploi de la théorie des gaz parfaits dans l'étude de phénomènes présentés par les gaz réels ne nous permet d'obtenir que des résultats approchés. Notre intention n'est donc pas de développer l'étude rigoureuse des systèmes que nous venons de définir, ce qui ne nous permettrait pas de pénétrer très avant dans le détail de leurs propriétés, mais bien d'obtenir certaines *formules approchées* qui nous fourniront des renseignements beaucoup plus complets.

1° *Nous admettrons que, conformément à la loi de Clausius, les chaleurs spécifiques des gaz parfaits sont indépendantes de la température.*

La quantité $\Psi'(p, T)$ sera alors définie par l'égalité [Chap. I, égalité (21)]

$$\Psi'(p, T) = R\sigma T(1 + \log p) - E\gamma T \log T - R\sigma T \log R\sigma T + \alpha T + \beta,$$

les lettres ayant la signification indiquée au Chapitre I.

Si V est le volume occupé par la masse m du gaz, on peut

écrire

$$\frac{p}{R\sigma T} = \frac{m}{V},$$

et la formule précédente devient

$$\Psi'(p, T) = R\sigma T\left(1 + \log\frac{m}{V}\right) - E\gamma T \log T + \alpha T + \beta,$$

ce qui donne

$$(2)\quad \begin{cases} \Psi'_1(p_1, T) = R\sigma_1 T\left(1 + \log\dfrac{m_1}{V}\right) - E\gamma_1 T \log T + \alpha_1 T + \beta_1, \\ \Psi'_2(p_2, T) = R\sigma_2 T\left(1 + \log\dfrac{m_2}{V}\right) - E\gamma_2 T \log T + \alpha_2 T + \beta_2, \end{cases}$$

V étant le volume occupé par le mélange gazeux.

2° *Nous négligerons le volume spécifique des corps solides ou liquides que renferme le système devant le volume spécifique des corps gazeux qu'il contient.*

Cette hypothèse, pour être légitime, suppose que les liquides que le système peut contenir soient extrêmement éloignés de leur point critique.

Voyons les conséquences de cette hypothèse :

A. Si les deux masses m_1, m_2 ne sont pas toutes deux extrêmement petites par rapport à la masse m_3, on pourra négliger le volume occupé par la masse m_3 devant le volume occupé par le mélange gazeux et, par conséquent, *on pourra confondre le volume du mélange gazeux avec le volume occupé par le système tout entier.*

B. Si nous désignons par $v_3(P, T)$ le volume spécifique du corps solide ou liquide sous la pression P, à la température T, nous avons, d'après une propriété connue du potentiel thermodynamique,

$$\frac{\partial \Psi'_3(P, T)}{\partial P} = v_3(P, T).$$

D'après l'hypothèse précédente, l'égalité que nous venons d'écrire peut être remplacée approximativement par l'égalité

$$\frac{\partial \Psi'_3(P, T)}{\partial P} = 0.$$

Le potentiel thermodynamique sous pression constante d'un corps solide ou liquide est sensiblement indépendant de la pression; c'est une fonction de la température seule.

Cette proposition nous permet d'écrire

$$\Psi'_3(P, T) = f_3(T). \tag{3}$$

3° *Nous négligerons les variations que la chaleur spécifique sous pression constante d'un corps solide ou liquide présente lorsque la température croît.*

Les propriétés fondamentales du potentiel thermodynamique nous donnent

$$C_3(P, T) = \frac{T}{E}\frac{\partial^2 \Psi'_3(P, T)}{\partial T^2}.$$

Les hypothèses faites transforment cette formule en

$$C_3 = -\frac{T}{E}\frac{d^2 f_3(T)}{dT^2},$$

C_3 étant une constante. On tire de là

$$f_3(T) = -EC_3 T \log T + \alpha_3 T + \beta_3, \tag{4}$$

α_3 et β_3 étant deux constantes.

En vertu des égalités (1), (2) et (4), on peut écrire

$$\left\{\begin{aligned} \Phi = RT &\left[m_1\sigma_1\left(1 + \log\frac{m_1}{V}\right) + m_2\sigma_2\left(1 + \log\frac{m_2}{V}\right)\right] \\ &- ET\log T(m_1\gamma_1 + m_2\gamma_2 + m_3 C_3) \\ &+ \quad T \quad (m_1\alpha_1 + m_2\alpha_2 + m_3\alpha_3) \\ &+ \qquad\quad (m_1\beta_1 + m_2\beta_2 + m_3\beta_3). \end{aligned}\right. \tag{5}$$

Telle est l'égalité approchée qui servira de point de départ à nos recherches dans ce Chapitre et dans le suivant.

§ II. — Tension de vapeur saturée. Tension de dissociation. Formule d'Athanase Dupré.

Appliquons d'abord la formule précédente à une transformation particulièrement simple, celle que subit un liquide lorsqu'il se vaporise dans le vide.

Considérons la vapeur 1, que nous assimilerons à un gaz parfait, en contact sous la pression P, à la température T, avec le liquide 2 qui lui donne naissance. On sait que la condition d'équilibre sera [1]

$$\Psi'_1(P, T) = \Psi'_2(P, T). \tag{6}$$

Mais on a, d'après l'égalité (2),

$$\Psi'_1(P, T) = R\sigma_1 T\left(1 + \log\frac{m_1}{V}\right) - E\gamma_1 T\log T + \alpha_1 T + \beta_1,$$

ou bien, puisque

$$\frac{m_1}{V} = \frac{P}{R\sigma_1 T},$$

$$\left\{\begin{aligned} \Psi'_1(P, T) &= R\sigma_1 T(1 + \log P) \\ &\quad - E\gamma_1 T\log T - R\sigma_1 T\log R\sigma_1 T + \alpha_1 T + \beta_1. \end{aligned}\right. \tag{7}$$

On a, d'autre part, en vertu des égalités (3) et (4),

$$\Psi'_2(P, T) = -EC_2 T\log T + \alpha_2 T + \beta_2. \tag{8}$$

Si l'on pose

$$\left\{\begin{aligned} M &= -\frac{\beta_1 - \beta_2}{R\sigma_1}, \\ N &= -\left[1 + \frac{E}{R\sigma_1}(C_2 - \gamma_1)\right], \\ Z &= -\left[1 + \log R\sigma_1 + \frac{1}{R\sigma_1}(\alpha_1 - \alpha_2)\right]. \end{aligned}\right. \tag{9}$$

M, N, Z étant trois constantes particulières à la substance étudiée, les égalités (6), (7) et (8) donnent

$$\log P = \frac{M}{T} + N\log T + Z. \tag{10}$$

Cette formule peut encore s'écrire, en désignant par P_0 la tension de la vapeur à une température arbitraire T_0,

$$\log\frac{P}{P_0} = M\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right) + N\log\frac{T}{T_0}. \tag{10 bis}$$

---

[1] Nous avons établi rigoureusement cette condition dans notre précédent Mémoire *Sur la continuité entre l'état liquide et l'état gazeux et sur la théorie générale des vapeurs*, Chap. I, § 2.

A cette formule on peut joindre celle qui donne la chaleur de vaporisation en fonction de la température. On a, en effet,

$$L = \frac{T}{E}\left[v_1(P, T) - v_2(P, T)\right]\frac{dP}{dT}.$$

Ici, nous sommes convenu de négliger $v_2(P, T)$ devant $v_1(P, T)$ et d'assimiler la vapeur à un gaz parfait, ce qui donne

$$v_1(P, T) = \frac{R\sigma_1 T}{P}.$$

L'égalité précédente devient donc

$$L = \frac{R\sigma_1 T^2}{E}\frac{d}{dT}\log P,$$

ou bien, en vertu de l'égalité (10 *bis*),

$$L = -\frac{R\sigma_1 M}{E} + \frac{RN}{E}T, \tag{11}$$

en sorte que, dans les conditions où nous sommes placé, *la chaleur de vaporisation est fonction linéaire de la température.*

La quantité C_2 étant notablement plus grande que γ_1 pour tous les corps connus, l'égalité qui donne N [égalité (9)] conduit à cette conséquence :

Pour tous les corps connus, la chaleur de vaporisation diminue lorsque la température croît.

Athanase Dupré avait proposé, le premier [1], de représenter la loi qui relie la tension de vapeur d'un liquide à la température par une formule semblable à la formule (10). Il y était parvenu en prenant pour point de départ la formule de Clapeyron

$$L = \frac{T}{E}\left[v_1(P, T) - v_2(P, T)\right]\frac{dP}{dT},$$

et en y introduisant ces deux hypothèses :

1° La chaleur de vaporisation est fonction linéaire de la température;

---

[1] ATHANASE DUPRÉ, *Théorie mécanique de la chaleur*, p. 97.

2° On peut appliquer à la vapeur d'eau les lois de Mariotte et de Gay-Lussac.

M. Massieu [1] a retrouvé, au moyen d'autres hypothèses, cette même forme pour la loi qui lie la tension de vapeur saturée à la température.

Enfin, M. Gibbs [2], dans un court passage qui renferme à l'état de germe tout ce Chapitre et le suivant, a donné de cette formule la démonstration qui précède.

La formule (10) peut-elle représenter avec une exactitude suffisante les tensions de vapeur des divers liquides? C'est une question que bien des auteurs ont examinée, et qui a été traitée, en dernier lieu, d'une manière très approfondie, par M. J. Bertrand, dans son Livre sur la *Thermodynamique*.

Trois observations de la tension de vapeur saturée à trois températures connues permettent de déterminer les valeurs que doivent avoir les trois constantes M, N, Z. Il est alors facile de calculer la valeur de P, que la formule (10) fait correspondre à chaque valeur de T, et de comparer les résultats ainsi obtenus aux résultats de l'observation.

Prenons, par exemple, la vapeur d'eau.

Si P est la pression, évaluée en millimètres de mercure, nous aurons, en déterminant les valeurs de M, N, Z par trois valeurs convenablement choisies de P,

$$\begin{aligned} M &= -2795, \\ N &= -\ \ 3,8682, \\ Z &= \ \ 17,44324. \end{aligned}$$

Voici le Tableau qui résume la comparaison entre les nombres fournis par la formule

$$\log P = 17,44324 - \frac{2795}{T} - 3,8682 \log T$$

et les résultats des expériences de Regnault.

---

(1) F. Massieu, *Mémoire sur les fonctions caractéristiques des divers fluides et sur la théorie des vapeurs*, p. 75.

(2) J.-W. Gibbs, *On the equilibrium of heterogeneous substances*, p. 213 (en note).

Températures absolues.	Pressions d'après Regnault.	Pressions d'après la formule.	Températures absolues.	Pressions d'après Regnault.	Pressions d'après la formule.
	mm			mm	
243	0,39	0,39	363	525,45	526,68
248	0,60	0,61	373 (100° C.)	760,00	763,04
253	0,93	0,95	383	1075,37	1081,48
258	1,40	1,45	393	1491,28	1499,64
263	2,09	2,16	403	2030,28	2045,16
268	3,11	3,17	413	2717,6	2738,12
273 (0° C.)	4,60	4,59	423	3581,2	3608,48
283	9,16	9,19	433	4651,6	4683,52
293	17,39	17,48	443	5961,7	5997,16
303	31,55	31,92	453	7546,4	7581,00
313	54,91	55,10	463	9442,7	9469,60
323	91,98	91,96	473 (200° C.)	11689,0	11701,72
333	148,79	148,96	483	14324,8	14297,12
343	233,09	233,32	493	17390,4	17306,72
353	354,64	255,68	503 (230° C.)	20926,4	20757,88

« L'erreur maxima, ajoute M. J. Bertrand, est de 169^{mm} pour $T = 503$ (230° C.), inférieure à 0,01 de la quantité calculée, et correspond à une erreur de 0°,47 sur la température. »

M. J. Bertrand a obtenu des résultats analogues pour les liquides suivants :

L'alcool,
L'éther chlorhydrique,
Le chloroforme,
Le sulfure de carbone,
Le chlorure de carbone,
L'acide sulfureux,
L'ammoniaque,
Le protoxyde d'azote,
L'acide carbonique,
L'essence de térébenthine,
L'hydrogène sulfuré,
L'alcool méthylique,
Le mercure,
Le soufre.

Il ne faudrait pas se faire illusion sur la portée de ces vérifica-

tions expérimentales. M. J. Bertrand [1] fait, à cet égard, la remarque suivante :

« La formule proposée par Dupré,

$$\log P = \frac{M}{T} + N \log T + Z,$$

s'accorde avec l'expérience d'une manière très remarquable; l'erreur ne dépasse, dans aucun cas, les incertitudes des mesures les plus soigneusement prises.

» Il n'en faut pas conclure l'exactitude théorique de la loi ainsi exprimée. Nous avons, pour trouver cette loi, attribué, contrairement aux faits, les propriétés des gaz parfaits aux vapeurs voisines du point de saturation. L'hypothèse n'est pas justifiée.

» Pour apprécier l'importance de l'accord obtenu, il ne faut pas oublier que trois constantes ont été laissées arbitraires dans la formule. Le calcul les rattachait aux propriétés spécifiques du corps étudié; nous n'en avons pas tenu compte; les constantes ont été choisies de manière à rendre la formule exacte pour trois valeurs de la température. »

L'exactitude de la formule d'Athanase Dupré doit donc être regardée comme inférieure à ce que ferait supposer le contrôle expérimental dont nous venons de parler.

La formule de Dupré peut évidemment, au même degré d'approximation, donner la tension de dissociation en fonction de la température au sein d'un système parfaitement homogène. M. Bertrand a pu, effectivement, représenter d'une manière très exacte, par cette formule, les tensions de dissociation

Du chlorure de calcium ammoniacal,
Du chlorure de zinc ammoniacal,
De l'iodure d'argent ammoniacal,
Du chlorure d'argent ammoniacal,

tensions mesurées par M. Isambert.

---

[1] J. Bertrand, *Thermodynamique*, p. 101.

§ III. — Loi du mélange des gaz et des vapeurs.

Revenons à l'étude des systèmes imparfaitement hétérogènes dont le potentiel thermodynamique, sous la pression constante P, est donné par l'égalité (5).

Au système formé par des masses m_1, m_2, m_3, soumis à la pression $P = p_1 + p_2$, qui admet pour potentiel thermodynamique la quantité Φ définie par l'égalité (5), comparons un second système, formé par des masses $(m_1 + dm_1)$, $(m_2 + dm_2)$, $(m_3 + dm_3)$ des mêmes corps, système soumis à la pression totale P. Les pressions partielles des deux gaz G_1, G_2 sont, dans ce système, $(p_1 + dp_1)$, $(p_2 + dp_2)$, avec cette condition

$$dp_1 + dp_2 = 0. \tag{12}$$

Soit $(\Phi + d\Phi)$ le potentiel thermodynamique de ce nouveau système. Nous aurons

$$\left\{\begin{aligned} d\Phi = & \left[R\sigma_1 T\left(1 + \log\frac{m_1}{V}\right) - E\gamma_1 T\log T + \alpha_1 T + \beta_1\right] dm_1 \\ & + \left[R\sigma_2 T\left(1 + \log\frac{m_2}{V}\right) - E\gamma_2 T\log T + \alpha_2 T + \beta_2\right] dm_2 \\ & + [\qquad\qquad - EC_3 T\log T + \alpha_3 T + \beta_3]\, dm_3 \\ & + RT(\sigma_1\, dm_1 + \sigma_2\, dm_2) - \frac{RT}{V}(m_1\sigma_1 + m_2\sigma_2)\, dV. \end{aligned}\right. \tag{13}$$

Mais on a

$$\left\{\begin{aligned} p_1 V &= RT\sigma_1 m_1, \\ p_2 V &= RT\sigma_2 m_2, \end{aligned}\right. \tag{14}$$

ce qui donne

$$\begin{aligned} p_1\, dV + V\, dp_1 &= RT\sigma_1\, dm_1, \\ p_2\, dV + V\, dp_2 &= RT\sigma_2\, dm_2. \end{aligned}$$

Si l'on ajoute ces égalités membre à membre, en tenant compte des égalités (12) et (14), on trouve

$$RT(m_1\sigma_1 + m_2\sigma_2)\, dV = RT(\sigma_1\, dm_1 + \sigma_2\, dm_2),$$

en sorte que l'égalité (13) devient

$$\left\{\begin{aligned} d\Phi = & \left[R\sigma_1 T\left(1 + \log\frac{m_1}{V}\right) - E\gamma_1 T\log T + \alpha_1 T + \beta_1\right] dm_1 \\ & + \left[R\sigma_2 T\left(1 + \log\frac{m_2}{V}\right) - E\gamma_2 T\log T + \alpha_2 T + \beta_2\right] dm_2 \\ & + [\qquad\qquad - EC_3 T\log T + \alpha_3 T + \beta_3]\, dm_3. \end{aligned}\right. \tag{15}$$

Cette égalité (15) peut être remplacée par les suivantes

$$(16)\quad \begin{cases} \dfrac{\partial\Phi}{\partial m_1} = R\sigma_1 T\left(1+\log\dfrac{m_1}{V}\right) - E\gamma_1 T\log T + \alpha_1 T + \beta_1, \\ \dfrac{\partial\Phi}{\partial m_2} = R\sigma_2 T\left(1+\log\dfrac{m_2}{V}\right) - E\gamma_2 T\log T + \alpha_2 T + \beta_2, \\ \dfrac{\partial\Phi}{\partial m_3} = \qquad\qquad\qquad\qquad - EC_3 T\log T + \alpha_3 T + \beta_3. \end{cases}$$

Nous allons faire immédiatement une application de ces formules à la *vaporisation d'un liquide dans une atmosphère qui renferme un gaz inerte.*

Un liquide 3 se vaporise de manière à former une vapeur 2 qui se répand dans un espace déjà rempli par un gaz 1. Pour trouver la condition d'équilibre du système, nous allons exprimer que la quantité Φ demeure invariable par l'effet d'une modification virtuelle, compatible avec les liaisons du système et effectuée à température constante et sous pression constante.

Les liaisons imposées au système exigent que l'on ait

$$dm_1 = 0, \qquad dm_2 + dm_3 = 0,$$

en sorte que la condition d'équilibre se réduit à

$$\frac{\partial\Phi}{\partial m_2} = \frac{\partial\Phi}{\partial m_3},$$

ou bien à

$$R\sigma_2[T(1+\log p_2) - E(\gamma_1 - C_3)T\log T + (\alpha_1 - \alpha_3)T + \beta_1 - \beta_3] = 0.$$

C'est précisément la condition d'équilibre que l'on eût obtenue si le système n'avait renfermé aucun gaz étranger, cas auquel p_2 eût été égal à la pression P à laquelle le système est soumis. On arrive donc ainsi à la loi du *mélange des gaz et des vapeurs,* si connue depuis les travaux de Dalton :

Dans un gaz étranger, un liquide se vaporise jusqu'à ce que la pression partielle de la vapeur soit égale à la tension de la vapeur que le liquide émettrait dans le vide à la même température.

Les approximations auxquelles cette loi est soumise sont celles qui dominent la présente théorie.

§ IV. — Retour à la définition d'un mélange de gaz parfaits.

Nous venons de voir comment la définition, donnée par M. Gibbs, d'un mélange de gaz parfaits, conduisait immédiatement à la loi du mélange des gaz et des vapeurs énoncée par Dalton. Inversement, cette loi, si l'on en admet l'exactitude, peut servir à justifier la définition de M. Gibbs.

Nous avons vu que quatre propositions, dont tout le monde admet l'exactitude pour les mélanges de gaz parfaits, conduisaient à la conséquence suivante :

Si deux masses m_1, m_2 de deux gaz parfaits différents G_1, G_2 sont mélangés sous le volume V, à la température T, le potentiel thermodynamique interne du mélange est donné par l'égalité [Chap. II, égalité (10)]

$$(17)\quad \left\{\begin{aligned} F(m_1, m_2, V, T) = \; & m_1\left[\chi_1(T) + RT\sigma_1 \log\frac{m_1}{V}\right] \\ & + m_2\left[\chi_2(T) + RT\sigma_2 \log\frac{m_2}{V}\right] + \varphi(m_1, m_2)T, \end{aligned}\right.$$

la fonction $\varphi(m_1, m_2)$ étant une fonction, indépendante du volume et de la température, dont nos deux propositions ne déterminent pas la forme.

Le potentiel thermodynamique du système, sous la pression constante P, aura pour valeur

$$\Psi = F(m_1, m_2, V, T) + PV.$$

Si l'on observe que l'on a

$$P = p_1 + p_2$$

et aussi

$$(14)\quad \left\{\begin{aligned} p_1 V &= RT\sigma_1 m_1, \\ p_2 V &= RT\sigma_2 m_2, \end{aligned}\right.$$

on pourra écrire

$$(18)\quad \left\{\begin{aligned} \Psi = \; & m_1[\chi_1(T) + RT\sigma_1 \log p_1 - RT\sigma_1 \log RT\sigma_1 + RT\sigma_1] \\ & + m_2[\chi_2(T) + RT\sigma_2 \log p_2 - RT\sigma_2 \log RT\sigma_2 + RT\sigma_2] \\ & + \varphi(m_1, m_2)T. \end{aligned}\right.$$

Supposons que le système renferme, en outre, une masse m_3

d'un corps solide ou liquide. Le potentiel thermodynamique du système, sous la pression P, sera

$$\Phi = \Psi + m_3 \Psi'_3(P, T).$$

Si nous négligeons le volume spécifique des corps solides ou liquides devant le volume spécifique des gaz, nous pourrons :

1° Confondre le volume du système avec le volume V du mélange gazeux ;

2° Regarder Ψ'_3 comme une simple fonction de la température.

En raisonnant alors comme au paragraphe précédent, nous trouverons

$$(19)\quad \left\{\begin{aligned} \frac{\partial\Phi}{\partial m_1} &= \chi_1(T) + RT\sigma_1 \log p_1 - RT\sigma_1 \log RT\sigma_1 + RT\sigma_1 + T\frac{\partial\varphi}{\partial m_1}, \\ \frac{\partial\Phi}{\partial m_2} &= \chi_2(T) + RT\sigma_2 \log p_2 - RT\sigma_2 \log RT\sigma_2 + RT\sigma_2 + T\frac{\partial\varphi}{\partial m_2}, \\ \frac{\partial\Phi}{\partial m_3} &= \Psi'_3(T). \end{aligned}\right.$$

Supposons que le corps 3 soit un liquide, que le corps 2 soit sa vapeur, et le corps 1 un gaz inerte mélangé à cette vapeur. La condition d'équilibre du système sera

$$\frac{\partial\Phi}{\partial m_2} = \frac{\partial\Phi}{\partial m_3},$$

ou bien, en vertu des égalités (19),

$$(20)\quad \chi_2(T) + RT\sigma_2 \log p_2 + RT\sigma_2(1 - \log RT\sigma_2) + T\frac{\partial\varphi}{\partial m_2} = \Psi'_3(T).$$

Si l'on admet l'exactitude de la loi de Dalton, la pression p_2, déterminée par cette égalité, doit avoir la même valeur que si le gaz G_1 n'existait pas. Or, dans cette nouvelle hypothèse, on trouverait, pour déterminer la pression p_1, l'égalité

$$\chi_2(T) + RT\sigma_2 \log p_2 + RT\sigma_2(1 - \log RT\sigma_2) = \Psi'_3(T).$$

Pour que la valeur de p_2, déterminée par cette égalité, soit identique à la valeur de p_2 déterminée par l'égalité (20), il faut et il suffit que l'on ait

$$\frac{\partial\varphi}{\partial m_2} = 0.$$

La fonction $\varphi(m_1, m_2)$ étant indépendante de m_2, nous aurons

$$\varphi(m_1, m_2) = \varphi(m_1, 0). \tag{21}$$

Dans l'égalité (17), supposons la masse m_2 égale à 0. Elle nous donnera

$$F(m_1, 0, V, T) = m_1\left[\chi_1(T) + RT\sigma_1 \log\frac{m_1}{V}\right] + T\varphi(m_1, 0).$$

Or, dans ces conditions, $F(m_1, 0, V, T)$ doit devenir le potentiel thermodynamique interne de la masse m_1 du gaz G_1, répandue dans le volume V à la température T, potentiel qui a pour valeur

$$m_1\left[\chi_1(T) + RT\sigma_1 \log\frac{m_1}{V}\right].$$

On a donc

$$\varphi(m_1, 0) = 0,$$

quel que soit m_1, et, par conséquent, d'après l'égalité (21),

$$\varphi(m_1, m_2) = 0, \tag{22}$$

quelles que soient les masses m_1, m_2.

Cette égalité (22), introduite dans l'égalité (17), donne la formule

$$\begin{aligned} F(m_1, m_2, V, T) = \quad & m_1\left[\chi_1(T) + RT\sigma_1 \log\frac{m_1}{V}\right] \\ & + m_2\left[\chi_2(T) + RT\sigma_2 \log\frac{m_2}{V}\right], \end{aligned}$$

qui est la traduction analytique de la définition du mélange des gaz parfaits donnée par M. Gibbs.

On s'explique ainsi pourquoi M. Gibbs, au lieu de donner immédiatement l'égalité (17) à titre de définition, l'a donnée [1] comme conséquence d'une sorte de généralisation de la loi du mélange des gaz et des vapeurs.

---

[1] J.-W. Gibbs, *On equilibrium of heterogeneous substances*, p. 215.

CHAPITRE VII.

DISSOCIATION AU SEIN DES SYSTÈMES HÉTÉROGÈNES RENFERMANT UN MÉLANGE DE GAZ PARFAITS.

§ I. — Dissociation du carbamate d'ammoniaque et des composés analogues.

Les phénomènes de dissociation appartiennent à plusieurs types différents.

Le premier de ces types est celui dont l'étude a fait l'objet des Chapitres III, IV et V; le composé et ses éléments sont gazeux; la dissociation se produit au sein d'un système gazeux homogène. C'est à ce type que se rattachent les premiers phénomènes découverts par H. Sainte-Claire Deville.

Le second type est présenté par le carbonate de chaux, les sels efflorescents et déliquescents, les chlorures ammoniacaux : le composé est solide; l'un des composants est également solide, l'autre composant est gazeux; les trois corps se séparent entièrement les uns des autres, de manière à former un système parfaitement hétérogène. La théorie de la dissociation au sein d'un semblable système peut être calquée sur la théorie de la vaporisation. La méthode de M. Gibbs permet d'étendre la formule d'Athanase Dupré à la loi qui relie la tension de dissociation à la température.

Ce sont là les deux types les plus simples qu'offre l'étude de la dissociation.

La Chimie nous présente d'autres catégories plus importantes et plus compliquées de phénomènes de dissociation.

Une première catégorie est ainsi caractérisée : le corps composé est un corps solide ou liquide; les corps composants sont des corps gazeux.

La seconde catégorie comprend les phénomènes présentés par un composé gazeux dont un élément est solide et l'autre élément gazeux.

Enfin une troisième catégorie nous présente un système formé par un corps solide et un corps gazeux se transformant en un

autre système formé également par un corps solide et un corps gazeux.

Ce sont ces trois catégories que nous allons étudier dans le présent Chapitre. En dehors de ces catégories, nous ne trouvons plus que des systèmes contenant deux liquides miscibles l'un à l'autre, ou un corps solide et un liquide capable de le dissoudre. Ces systèmes sont hors du cadre du présent Mémoire.

L'acide carbonique sec, mis en présence du gaz ammoniacal également sec, donne un composé solide, blanc, formé par l'union d'un volume d'acide carbonique et de deux volumes de gaz ammoniac; ce composé est le *carbamate d'ammoniaque*.

Chauffé, ce solide donne des vapeurs que, d'après l'ensemble de leurs propriétés, les chimistes ont envisagées comme un simple mélange d'acide carbonique et de gaz ammoniac. Le carbamate d'ammoniaque serait donc un corps solide non volatil susceptible de se dissocier en ses éléments gazeux.

Un mélange d'un volume d'acide carbonique et de deux volumes de gaz ammoniac forme un corps d'une constitution chimique parfaitement déterminée. Le potentiel thermodynamique sous pression constante de l'unité de masse de ce corps dépend uniquement de la température et de la pression. Représentons-le par $\Psi'_2(p, T)$.

Soit $\Psi'_1(p, T)$ le potentiel thermodynamique sous la pression constante p, à la température T, de l'unité de masse du carbamate d'ammoniaque. Un système renfermant une masse m_1 de carbamate d'ammoniaque solide, surmontée d'une masse m_2 du mélange gazeux considéré, aura pour potentiel thermodynamique sous pression constante la quantité

$$\Phi = m_1 \Psi'_1(p, T) + m_2 \Psi'_2(p, T).$$

La condition d'équilibre de ce système sera donnée par

$$\Psi'_1(p, T) = \Psi'_2(p, T).$$

Un système qui renfermerait une masse m_1 d'un solide volatil dont l'unité de masse aurait pour potentiel thermodynamique, sous pression constante, $\Psi'_1(p, T)$; et une masse m_2 de la vapeur de ce corps, l'unité de masse de cette vapeur ayant pour potentiel thermodynamique, sous pression constante, $\Psi'_2(p, T)$; ce sys-

tème, disons-nous, aurait pour potentiel thermodynamique, sous pression constante, la quantité

$$\Phi = m_1 \Psi'_1(p, T) + m_2 \Psi'_2(p, T)$$

et la condition d'équilibre de ce système serait

$$\Psi'_1(p, T) = \Psi'_2(p, T).$$

Ce système présenterait donc des propriétés identiques à celles du carbamate d'ammoniaque surmonté d'un mélange contenant un volume d'acide carbonique et deux volumes de gaz ammoniac.

Ainsi, *les phénomènes présentés par le carbamate d'ammoniaque, lorsqu'il se dissocie dans une enceinte primitivement vide, sont identiquement ceux que présenterait un solide se vaporisant dans une enceinte vide.*

Ce parallélisme entre la dissociation du carbamate d'ammoniaque et la vaporisation d'un solide volatil cesse d'exister lorsque le phénomène, au lieu de se produire dans le vide, se produit dans une enceinte renfermant soit de l'acide carbonique, soit du gaz ammoniac.

Si un solide volatil se vaporisait dans une semblable enceinte, la vapeur y prendrait une tension partielle égale à la tension totale qu'elle prendrait dans le vide à la même température; en sorte que la pression totale du mélange gazeux à la température de l'expérience serait la somme de la pression du gaz étranger remplissant, à la même température, le même volume, et de la tension de vapeur saturée du solide à la même température.

Il n'en est plus de même lorsque le carbamate d'ammoniaque se dissocie dans une atmosphère renfermant soit de l'acide carbonique, soit de l'ammoniaque. Dans ce cas, la tension du mélange gazeux, au moment de l'équilibre, varie suivant une loi plus compliquée, que nous allons chercher à démontrer avec précision.

Un système renferme :

Une masse m_1 de gaz ammoniac;

Une masse m_2 d'acide carbonique;

Une masse m_3 de carbamate d'ammoniaque.

Soit p_1 la pression partielle du gaz ammoniac dans le mélange; soit p_2 la pression partielle du gaz acide carbonique; le carbamate

d'ammoniaque supporte une pression totale

$$\Pi = p_1 + p_2.$$

Soit $\Psi'_3(\Pi, T)$ le potentiel thermodynamique de l'unité de masse du carbamate d'ammoniaque, sous la pression Π, à la température T.

D'après les égalités (18) et (22) du Chapitre précédent, le potentiel thermodynamique du mélange gazeux sous la pression constante Π, à la température T, aura pour valeur

$$\begin{aligned}\Psi = \quad & m_1[\chi_1(T) + RT\sigma_1 \log p_1 + RT\sigma_1(1 - \log RT\sigma_1)] \\ & + m_2[\chi_2(T) + RT\sigma_2 \log p_2 + RT\sigma_2(1 - \log RT\sigma_2)].\end{aligned}$$

Le potentiel thermodynamique du système tout entier aura alors pour valeur

$$(1) \quad \left\{\begin{aligned}\Phi &= \Psi + m_3\Psi'_3(\Pi, T) \\ &= \quad m_1[\chi_1(T) + RT\sigma_1 \log p_1 + RT\sigma_1(1 - \log RT\sigma_1)] \\ &\quad + m_2[\chi_2(T) + RT\sigma_2 \log p_2 + RT\sigma_2(1 - \log RT\sigma_2)] \\ &\quad + m_3\Psi'_3(\Pi, T).\end{aligned}\right.$$

Négligeons le volume spécifique du carbamate d'ammoniaque devant les volumes spécifiques du gaz ammoniac et de l'acide carbonique. Cette seule approximation entraîne deux conséquences :

1° Nous pouvons confondre les variations que subit le volume V occupé par le mélange gazeux avec les variations que subit le volume entier du système;

2° Nous pouvons regarder la fonction Ψ'_3 comme indépendante de Π et la représenter simplement par le symbole $\Psi'_3(T)$.

Cela posé, imaginons que les masses m_1, m_2, m_3 subissent des accroissements dm_1, dm_2, dm_3, sans que l'on fasse varier ni la température T, ni la pression totale Π. Les pressions p_1, p_2 subissent des accroissements dp_1, dp_2, liés par la relation

$$dp_1 + dp_2 = 0.$$

La quantité Φ subit une variation qui peut se mettre sous la forme

$$(2) \qquad d\Phi = \frac{\partial\Phi}{\partial m_1} dm_1 + \frac{\partial\Phi}{\partial m_2} dm_2 + \frac{\partial\Phi}{\partial m_3} dm_3.$$

Un raisonnement analogue à celui qui, au Chapitre VI, nous a fourni les égalités (19) nous donnera

$$3)\quad \begin{cases} \dfrac{\partial\Phi}{\partial m_1} = \chi_1(T) + RT\sigma_1 \log p_1 + RT\sigma_1(1 - \log RT\sigma_1), \\ \dfrac{\partial\Phi}{\partial m_2} = \chi_2(T) + RT\sigma_2 \log p_2 + RT\sigma_2(1 - \log RT\sigma_2), \\ \dfrac{\partial\Phi}{\partial m_3} = \Psi'_3(T). \end{cases}$$

Soient

n_1 le nombre de molécules de gaz ammoniac,
n_2 le nombre de molécules d'acide carbonique qui s'unissent pour former une molécule de carbamate d'ammoniaque;
ϖ_1 le poids moléculaire du gaz ammoniac,
ϖ_2 le poids moléculaire du gaz acide carbonique.

Supposons qu'une masse infiniment petite de carbamate d'ammoniaque se dissocie sans variation de température ni de pression totale; les quantités m_1, m_2, m_3 augmenteront respectivement de dm_1, dm_2, dm_3, et l'on aura

$$(4)\qquad \frac{dm_1}{n_1\varpi_1} = \frac{dm_2}{n_2\varpi_2} = -\frac{dm_3}{n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2}.$$

L'égalité (2) deviendra alors

$$(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\,d\Phi = \left[(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\frac{\partial\Phi}{\partial m_3} - n_1\varpi_1\frac{\partial\Phi}{\partial m_1} - n_2\varpi_2\frac{\partial\Phi}{\partial m_2}\right]dm_3.$$

La condition d'équilibre du système s'obtiendra en écrivant que

$$d\Phi = 0.$$

Cette condition sera donc

$$(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\frac{\partial\Phi}{\partial m_3} - n_1\varpi_1\frac{\partial\Phi}{\partial m_1} - n_2\varpi_2\frac{\partial\Phi}{\partial m_2} = 0,$$

ou bien, en vertu des égalités (3),

$$(5)\quad \begin{cases} RT(n_1\varpi_1\sigma_1 \log p_1 + n_2\varpi_2\sigma_2 \log p_2) \\ \quad + n_1\varpi_1\chi_1(T) + n_2\varpi_2\chi_2(T) - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\Psi'_3(T) \\ \quad + RT[n_1\varpi_1\sigma_1(1 - \log RT\sigma_1) + n_2\varpi_2\sigma_2(1 - \log RT\sigma_2)] = 0 \end{cases}$$

Cette condition d'équilibre peut encore s'écrire autrement.

Si l'on observe que l'on a

$$p_1 V = RT\sigma_1,$$
$$p_2 V = RT\sigma_2,$$

on peut encore l'écrire

$$(6)\quad \left\{\begin{aligned} &RT\left(n_1\varpi_1\sigma_1 \log\frac{m_1}{V} + n_2\varpi_2\sigma_2 \log\frac{m_2}{V}\right)\\ &\quad + n_1\varpi_1[\chi_1(T) + RT\sigma_1] + n_2\varpi_2[\chi_2(T) + RT\sigma_2]\\ &\qquad\qquad - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\Psi'_3(T) = 0. \end{aligned}\right.$$

Ces conditions équivalentes (5) et (6) supposent seulement les approximations suivantes :

Le mélange gazeux est un mélange de gaz parfait.

Le volume spécifique du composé solide est très petit par rapport aux volumes spécifiques des composants gazeux.

Voyons maintenant les conséquences de ces conditions d'équilibre.

1. Loi de l'équilibre a température constante. — Si la température T est maintenue constante, la formule (5) devient

$$n_1\varpi_1\sigma_1 \log p_1 + n_2\varpi_2\sigma_2 \log p_2 = \text{const.}$$

ou bien encore

$$(7)\qquad p_1^{n_1\varpi_1\sigma_1}\, p_2^{n_2\varpi_2\sigma_2} = \text{const.}$$

Lorsque la température T est maintenue constante, la formule (6) donne

$$(8)\qquad \frac{m_1^{n_1\varpi_1\sigma_1}\, m_2^{n_2\varpi_2\sigma_2}}{V^{n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2}} = \text{const.}$$

Ces deux formes de la condition d'équilibre, et en particulier la première, prêtent à d'intéressantes vérifications expérimentales.

Dissociation de l'oxyde de mercure. — La formule (7) conduit à une première conséquence :

Quelque grande que soit l'une des deux pressions p_1, p_2,

l'équilibre ne saurait s'établir si l'autre pression est maintenue égale à 0.

Cette loi nous permet d'éclaircir une difficulté qui s'est présentée dans l'étude de la dissociation de l'oxyde rouge de mercure.

L'oxyde rouge de mercure se décompose en deux corps gazeux, l'oxygène et la vapeur de mercure. M. Myers ([1]), qui a fait de nombreuses expériences sur cette dissociation, a cru pouvoir en conclure que, jusqu'à 440°, la dissociation de l'oxyde rouge de mercure était limitée par une tension du mélange d'oxygène et de vapeur de mercure; cette tension était, par exemple, de 2^{mm} à 250°, de 8^{mm} à 350°; mais que, à partir de 440°, il n'y aurait plus, pour l'oxyde de mercure, de tension de dissociation; la décomposition serait illimitée.

H. Debray ([2]) a fait observer que, dans l'appareil qui servait à M. Myers aux températures supérieures à 440°, il existait des parois froides sur lesquelles la vapeur de mercure allait se condenser; la tension de la vapeur de mercure était alors ramenée sans cesse à une valeur très faible et l'équilibre ne pouvait plus s'établir, quelque grande que fût la pression de l'oxygène.

Dissociation du carbamate d'ammoniaque. — Mais la formule (7) peut être soumise à un contrôle expérimental plus précis. C'est au moyen de l'étude du carbamate d'ammoniaque que ce contrôle a été tenté d'abord par M. Hortsmann ([3]) à qui est due la loi représentée par la formule (7), puis par Isambert ([4]).

Dans le cas du carbamate d'ammoniaque, nous avons

$$n_1 \varpi_1 \sigma_1 = 2 n_2 \varpi_2 \sigma_2,$$

en sorte que la formule (7), où p_1 désigne la pression partielle du gaz ammoniac et p_2 la pression partielle de l'acide carbonique, peut s'écrire simplement

$$p_1^2 p_2 = \text{const.} \tag{9}$$

([1]) Myers, *Bulletin de la Société chimique de Berlin*, t. VI, p. 11; 1873.

([2]) H. Debray, *Comptes rendus*, p. 123; 1873, 2e semestre.

([3]) Hortsmann, *Annalen der Chemie und Pharmacie*, t. CLXXXVII; 1877.

([4]) Isambert, *Comptes rendus*, t. XCIII, p. 731, 1881; t. XCVII, p. 1212; 1883.

Supposons d'abord l'*acide carbonique en excès*. L'excès d'acide carbonique, occupant seul le volume du mélange, exercerait une pression ϖ. L'acide carbonique provenant de la dissociation exercerait, s'il occupait seul le volume du mélange, une pression égale à la moitié de la pression partielle du gaz ammoniac. On a donc, pour valeur de la pression partielle p_2 de l'acide carbonique dans le mélange,

$$p_2 = \varpi + \frac{1}{2} p_1.$$

La tension totale des gaz provenant de la dissociation du carbamate d'ammoniaque est la somme de la tension partielle p_1 du gaz ammoniac et de la pression partielle $\frac{1}{2} p_1$ de l'acide carbonique provenant de cette dissociation. Si l'on désigne par p cette tension totale, on a

$$p = \frac{3}{2} p_1.$$

Les deux égalités que nous venons d'écrire donnent

$$p_1 = \frac{2}{3} p,$$

$$p_2 = \frac{1}{3} p + \varpi,$$

et l'égalité (9) devient

$$p^2 \left(\varpi + \frac{1}{3} p\right) = \text{const.}$$

Supposons, en particulier, l'excès d'acide carbonique réduit à o. Nous aurons alors

$$p = \mathrm{P},$$

P étant la tension de dissociation du carbamate d'ammoniaque dans le vide; en sorte que l'égalité précédente deviendra

$$(10) \qquad p^2 \left(\varpi + \frac{1}{3} p\right) = \frac{\mathrm{P}^3}{3}.$$

Telle est la formule qui relie la tension de dissociation p du carbamate d'ammoniaque en présence d'un excès d'acide carbonique dont la tension est ϖ à la tension de dissociation P du carbamate d'ammoniaque dans le vide.

Si le carbamate d'ammoniaque se vaporisait sans se dissocier, sa tension de vapeur p en présence d'un excès d'acide carbonique serait égale à sa tension de vapeur P dans le vide.

L'égalité (10) nous montre que *la tension de dissociation du carbamate d'ammoniaque en présence d'un excès d'acide carbonique est toujours inférieure à la tension de dissociation du carbamate d'ammoniaque dans le vide. Elle est d'autant plus petite que l'excès d'acide carbonique est plus grand.*

Au moyen de la relation (10), M. Hortsmann a calculé les valeurs de $\frac{p}{P}$ qui correspondent à des valeurs données de $\frac{\varpi}{P}$. Il a comparé les nombres ainsi obtenus aux nombres déterminés expérimentalement par M. Naumann ou par lui-même.

Voici le Tableau qui résume cette comparaison :

Dissociation du carbamate d'ammoniaque (acide carbonique en excès).

$\frac{\varpi}{P}$.	$\frac{p}{P}$ observé.	$\frac{p}{P}$ calculé.	Δ.
0,52	0,71	0,68	+0,03
0,98	0,51	0,53	—0,02
1,59	0,45	0,43	+0,02
2,22	0,42	0,38	+0,04
2,79	0,36	0,34	+0,02
3,28	0,32	0,31	+0,01
3,30	0,33	0,31	+0,02
3,93	0,32	0,28	+0,04
4,37	0,29	0,27	+0,02
5,10	0,26	0,25	+0,01
5,43	0,24	0,24	0,00
5,99	0,25	0,23	+0,02
6,14	0,23	0,22	+0,01
7,52	0,18	0,20	—0,02

M. Hortsmann a examiné de même le cas où le gaz ammoniac est en excès. Si l'on désigne par ϖ la pression qu'exercerait l'excès de gaz ammoniac s'il occupait seul le volume du mélange, par p la tension de dissociation du carbamate d'ammoniaque en présence de cet excès de gaz ammoniac, p sera donné en fonction de ϖ et de P par l'équation

$$p\left(\varpi + \frac{2}{3}p\right)^2 = \frac{4P^2}{9}. \tag{11}$$

Cette équation (11) permet, lorsqu'on connaît $\frac{\varpi}{P}$, de calculer $\frac{p}{P}$ et de comparer les valeurs de $\frac{p}{P}$ déduites de ce calcul aux valeurs de $\frac{p}{P}$ déterminées par l'expérience. Le Tableau suivant résume cette comparaison.

Dissociation du carbamate d'ammoniaque (gaz ammoniac en excès).

$\frac{\varpi}{P}$.	$\frac{p}{P}$ observé.	$\frac{p}{P}$ calculé.	Δ.
0,36	0,67	0,67	0,00
0,54	0,61	0,54	+0,07
0,86	0,45	0,36	+0,09
0,92	0,39	0,34	+0,05
1,00	0,34	0,30	+0,04
1,24	0,20	0,23	—0,03
1,41	0,22	0,19	+0,03
1,44	0,30	0,18	+0,12
1,68	0,27	0,14	+0,13
1,78	0,10	0,13	—0,03
2,15	0,20	0,09	+0,11
2,33	0,17	0,07	+0,10
2,36	0,03	0,07	—0,04
2,84	0,18	0,05	+0,13
2,88	0,03	0,05	—0,02
3,31	0,03	0,04	—0,01
3,43	0,14	0,04	+0,10
3,47	0,07	0,04	—0,03
4,15	0,02	0,03	—0,01
4,43	0,10	0,03	+0,07
4,61	0,02	0,03	—0,01
5,24	0,03	0,03	0,00
6,42	0,02	0,02	0,00
6,71	0,08	0,02	+0,06

La concordance de la formule avec l'expérience, dans le cas où le gaz ammoniac est en excès, est beaucoup moins satisfaisante que dans le cas où l'acide carbonique est en excès. D'ailleurs, dans le cas où le gaz ammoniac est en excès, les résultats de l'expérience présentent des oscillations qui font regarder leur exactitude comme très improbable.

Isambert a obtenu, par des méthodes plus précises, une concordance beaucoup plus parfaite.

Cinq tubes barométriques, divisés en centièmes de millimètre cube et renfermant du carbamate d'ammoniaque, étaient rangés à côté l'un de l'autre dans une étuve.

Le premier ne renfermait aucun excès d'acide carbonique ni de gaz ammoniac. Il donnait *directement* la tension de dissociation du carbamate d'ammoniaque dans le vide aux diverses températures. Ses indications sont rangées dans la colonne I du Tableau suivant.

Les quatre autres tubes renfermaient un excès de l'un des deux gaz composant le carbamate d'ammoniaque.

Le second avait reçu un excès d'acide carbonique occupant, dans les conditions normales de température et de pression, $12^{cc},9$; le troisième avait reçu $6^{cc},1$ d'acide carbonique; le quatrième, 6^{cc} de gaz ammoniac; le cinquième, $11^{cc},4$ du même gaz. Les indications de chacun de ces tubes, jointes à l'une des équations (10) ou (11), fournissaient une détermination *indirecte* de la tension de dissociation du carbamate d'ammoniaque, dans le vide, à la température considérée. Les tensions ainsi calculées au moyen des indications des quatre derniers tubes sont inscrites au Tableau suivant dans les colonnes II, III, IV, V.

Températures.	I.	II.	III.	IV.	V.
°	mm	mm	mm	mm	mm
34,0	169,8	170,4	164,5	166,8	181,3
37,2	211,0	210,8	204,6	205,9	215,5
39,1	234,1	234,4	228,5	229,4	236,9
41,8	269,4	271,7	267,7	265,6	274,5
42,5	288,3	289,2	284,2	286,2	291,9
43,9	313,8	314,5	311,8	313,5	318,4
46,9	375,7	375,3	372,0	375,6	378,3
50,1	453,8	452,9	452,2	454,1	455,0
52,6	526,2	523,5	522,3	523,8	526,2

Les tensions calculées au moyen des indications des quatre derniers tubes sont très sensiblement égales, dans la plupart des cas, aux tensions lues directement sur le premier tube. On peut donc regarder les observations d'Isambert comme confirmant, au

moins pour le cas particulier présenté par le carbamate d'ammoniaque, la formule de M. Hortsmann.

Dissociation du bisulfhydrate d'ammoniaque, du bromhydrate d'hydrogène phosphoré et du cyanhydrate d'ammoniaque. — Dans le carbamate d'ammoniaque, deux volumes de gaz ammoniac sont unis à un volume d'acide carbonique. Il est intéressant de rechercher si la formule de M. Hortsmann est encore d'accord avec l'expérience dans des cas où les volumes des deux gaz qui se combinent sont entre eux dans un autre rapport, par exemple, dans le cas où ces volumes sont égaux entre eux.

On a alors

$$n_1 \varpi_1 \sigma_1 = n_2 \varpi_2 \sigma_2$$

et la formule (7) peut s'écrire

$$p_1 p_2 = \text{const.} \tag{12}$$

Isambert a étudié la dissociation d'un certain nombre de combinaisons qui se trouvent dans ces conditions. D'après ses recherches, les lois de la dissociation du bisulfhydrate d'ammoniaque (1), du bromhydrate d'hydrogène phosphoré (2) sont très exactement représentées par la formule (12).

Le cyanhydrate d'ammoniaque est formé également par l'union à volumes égaux de l'acide cyanhydrique et du gaz ammoniac. La dissociation de ce composé a été étudiée avec beaucoup de soin par Isambert (3).

Lorsque ce composé se dissocie en présence d'un excès d'acide cyanhydrique, celui-ci se condense partiellement; l'acide cyanhydrique formé dissout du cyanhydrate d'ammoniaque, et les conditions simples, dans lesquelles nous nous supposons placé tout le long de ce Mémoire, ne sont plus remplies. Nous laisserons donc de côté dans ce travail, pour l'étudier dans un autre, la

---

(1) Isambert, *Comptes rendus*, t. XCIII, p. 919, 1881; t. XCIV, p. 958, 1882; t. XCV, p. 1355, 1882.

(2) Isambert, *Comptes rendus*, t. XCVI, p. 643; 1883.

(3) Isambert, *Comptes rendus*, t. XCIV, p. 958; 1882. — *Annales de Chimie et de Physique*, 5e série, t. XXVIII, p. 332; 1883.

dissociation du cyanhydrate d'ammoniaque en présence d'un excès d'acide cyanhydrique.

Les conditions admises dans le présent travail sont au contraire réalisées lorsque le cyanhydrate d'ammoniaque se dissocie en présence d'un excès de gaz ammoniac. C'est ce cas que nous allons examiner.

Soient

ϖ la pression qu'exercerait l'excès de gaz ammoniac s'il occupait seul le volume entier du mélange gazeux,
p la tension totale du mélange gazeux,
p_2 la tension partielle de l'acide cyanhydrique dans ce mélange.

Il est facile de voir que l'on a

$$p_2 = \frac{p - \varpi}{2}.$$

L'observation des quantités p et ϖ permet donc de déterminer *expérimentalement* la tension de l'acide cyanhydrique dans le mélange.

La tension du gaz ammoniac dans le mélange est $(p_2 + \varpi)$. La relation (12) peut donc s'écrire

$$p_2(p_2 + \varpi) = \text{const.}$$

Dans le cas où $\varpi = 0$, p_2 devient la moitié de la tension de dissociation P du cyanhydrate d'ammoniaque dans le vide. On a donc

$$p_2(p_2 + \varpi) = \frac{P^2}{4},$$

relation qui permet de *calculer* la valeur de p_2. On peut comparer la valeur de p_2 ainsi calculée à la valeur observée. Le résultat de cette comparaison est présenté par le Tableau suivant :

Dissociation du cyanhydrate d'ammoniaque
(gaz ammoniac en excès).

Température.	Tension P dans le vide.	Excès ϖ de gaz ammoniac.	Tension totale p.	Tension de HCAz observée p_2.	Tension de HCAz calculée p'_2.	Différence $\Delta = p_2 - p'_2$.
o	mm	mm	mm	mm	mm	mm
7,3	175	314,2	358	21,2	22,7	—1,5
7,4	176,7	327,7	365,2	18,7	21,3	—2,6
9,2	196,0	317,0	369,8	26,4	27,8	—1,4
9,3	200	329	370,0	25,0	28,0	—3,0
9,4	202	323,2	373,4	25,1	26,9	—1,8
9,4	204,9	324,0	376,4	26,2	29,6	—3,4
10,2	214	316,0	378,4	31,2	32,8	—1,6
11	227,4	323,0	393,3	35,1	35,8	—0,7
11,2	232,9	311,2	390,0	39,4	38,7	+0,7
11,2	234	320,6	395,6	37,5	38,2	—0,7
11,4	235,4	314,0	394,4	40,2	38,8	+1,2
12	246,2	309,2	397,8	44,3	42,9	+1,3
14,3	265,5	308,8	413,2	52,2	49,1	+3,1
14,4	266,3	307,2	412,2	52,5	49,8	+2,7
15,5	296,9	294,8	425,8	65,4	61,8	+3,6
15,7	300,9	295,1	426,1	65,5	63,2	+2,3
15,7	300,5	299,8	432,2	66,2	62,6	+4,4
17	322,4	287,3	441,1	76,9	72,2	+4,7
17,2	326,2	286	442,9	78,4	74,0	+4,4

Ces nombres mettent hors de doute la concordance que la loi énoncée par M. Hortsmann présente avec l'expérience.

Généralisation de la loi de M. Hortsmann. — Nous avons supposé que le composé solide ou liquide était formé par l'union de deux corps gazeux. Si nous le supposions formé par l'union de m corps gazeux, un raisonnement identique à celui qui nous a fourni l'égalité (7) nous montrerait que l'on a, à température constante,

$$p_1^{n_1\varpi_1\sigma_1} p_2^{n_2\varpi_2\sigma_2} \ldots p_m^{n_m\varpi_m\sigma_m} = \text{const.}$$

On n'a encore soumis cette formule à aucune vérification expérimentale dans le cas où m surpasse 2.

Cette généralisation est due à M. H.-W. Bakhuis-Roozboom [1].

---

[1] H.-W. Bakhuis-Roozboom, *Recueil des travaux chimiques des Pays-Bas*, t. VI, p. 279; 1887.

2. Chaleur de formation. — Le potentiel thermodynamique du système sous la pression constante

$$\Pi = p_1 + p_2$$

est donné par l'égalité (1).

Soient V le volume du mélange gazeux et U le volume du composé solide; le potentiel thermodynamique interne du système aura pour valeur

$$\mathcal{F} = \Phi - \Pi(V + U).$$

Si l'on néglige le volume spécifique du corps solide ou liquide, on pourra négliger la quantité U et écrire la formule précédente

$$\mathcal{F} = \Phi - \Pi V.$$

Nous aurons d'ailleurs

$$\Pi V = RT(m_1\sigma_1 + m_2\sigma_2).$$

La formule (1) nous donne donc

$$\begin{aligned}\mathcal{F} = \quad & m_1\left[\chi_1(T) + RT\sigma_1 \log\frac{p_1}{RT\sigma_1}\right] \\ & + m_2\left[\chi_2(T) + RT\sigma_2 \log\frac{p_2}{RT\sigma_2}\right] + m_3\Psi'_3(T).\end{aligned}$$

Or on a

$$\begin{aligned} p_1 V &= RT m_1\sigma_1, \\ p_2 V &= RT m_2\sigma_2, \end{aligned}$$

en sorte que cette égalité peut encore s'écrire

$$(13)\quad \left\{\begin{aligned}\mathcal{F} = \quad & m_1\left[\chi_1(T) + RT\sigma_1 \log\frac{m_1}{V}\right] \\ & + m_2\left[\chi_2(T) + RT\sigma_2 \log\frac{m_2}{V}\right] + m_3\Psi'_3(T).\end{aligned}\right.$$

De cette formule (13), nous déduisons, en supposant le volume V maintenu constant,

$$(14)\quad \left\{\begin{aligned}\frac{\partial\mathcal{F}}{\partial m_1} &= \chi_1(T) + RT\sigma_1\left(1 + \log\frac{m_1}{V}\right), \\ \frac{\partial\mathcal{F}}{\partial m_2} &= \chi_2(T) + RT\sigma_2\left(1 + \log\frac{m_2}{V}\right), \\ \frac{\partial\mathcal{F}}{\partial m_3} &= \Psi'_3(T).\end{aligned}\right.$$

Supposons que, dans le système dont le volume est maintenu constant, une masse dm_3 du composé se forme aux dépens des gaz composants. Il se dégage une quantité de chaleur $L\,dm_3$. L est la *chaleur de formation du composé sous volume constant.*

Cette quantité de chaleur $L\,dm_3$ est donnée par la formule générale

$$EL\,dm_3 = -E\,dU = -d\left(\mathcal{F} - T\frac{\partial \mathcal{F}}{\partial T}\right).$$

Or on a

$$d\mathcal{F} = \frac{\partial \mathcal{F}}{\partial m_1}dm_1 + \frac{\partial \mathcal{F}}{\partial m_2}dm_2 + \frac{\partial \mathcal{F}}{\partial m_3}dm_3$$

et

$$dm_1 = -\frac{n_1\varpi_1}{n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2}dm_3, \qquad dm_2 = -\frac{n_2\varpi_2}{n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2}dm_3,$$

ce qui donne

$$(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\,d\mathcal{F} = \left[(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\frac{\partial \mathcal{F}}{\partial m_3} - n_1\varpi_1\frac{\partial \mathcal{F}}{\partial m_1} - n_2\varpi_2\frac{\partial \mathcal{F}}{\partial m_2}\right]dm_3.$$

On a donc

$$\begin{aligned}(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\,EL = \quad & n_1\varpi_1\left(\frac{\partial \mathcal{F}}{\partial m_1} - T\frac{\partial^2 \mathcal{F}}{\partial m_1\,\partial T}\right)\\ & + n_2\varpi_2\left(\frac{\partial \mathcal{F}}{\partial m_2} - T\frac{\partial^2 \mathcal{F}}{\partial m_2\,\partial T}\right)\\ & - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\left(\frac{\partial \mathcal{F}}{\partial m_3} - T\frac{\partial^2 \mathcal{F}}{\partial m_3\,\partial T}\right)\end{aligned}$$

ou bien, en vertu des égalités (14),

$$(15)\quad \left\{\begin{aligned}E(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\,L = \quad & n_1\varpi_1\left[\chi_1(T) - T\frac{d\chi_1(T)}{dT}\right]\\ & + n_2\varpi_2\left[\chi_2(T) - T\frac{d\chi_2(T)}{dT}\right]\\ & - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\left[\Psi'_3(T) - T\frac{d\Psi'_3(T)}{dT}\right].\end{aligned}\right.$$

La chaleur de formation sous volume constant du composé est une fonction de la température seule; elle ne dépend ni de la pression qui agit sur le système, ni de la composition du mélange gazeux.

L'égalité (15) nous donne

$$E(n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)\frac{dL}{dT}=-n_1\varpi_1 T\frac{d^2\chi_1(T)}{dT^2}-n_2\varpi_2 T\frac{d^2\chi_2(T)}{dT^2}$$
$$+(n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)T\frac{d^2\Psi'_3(T)}{dT^2}.$$

Soient, à la température T, $\gamma_1(T)$ et $\gamma_2(T)$ les chaleurs spécifiques des deux gaz *sous volume constant;* soit $C_3(T)$ la chaleur spécifique *sous pression constante* du solide. Nous aurons

$$E\gamma_1(T)=-T\frac{d^2\chi_1(T)}{dT^2},$$
$$E\gamma_2(T)=-T\frac{d^2\chi_2(T)}{dT^2},$$
$$EC_3(T)=-T\frac{d^2\Psi'_3(T)}{dT^2},$$

et l'égalité précédente deviendra

$$(16)\quad (n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)\frac{dL}{dT}=-(n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)C_3(T)+n_1\varpi_1\gamma_1(T)+n_2\varpi_2\gamma_2(T).$$

La chaleur de formation λ *du composé sous la pression constante* Π *est liée à la chaleur de formation sous volume constant par la relation*

$$E(L-\lambda)\,dm_3=\Pi\,dV,$$

dV *étant l'accroissement que subit le volume du système lorsque, sous la pression constante* Π, *une masse* dm_3 *du composé prend naissance.*

Or on a

$$\Pi V=RT(m_1\sigma_1+m_2\sigma_2).$$

On déduit de là

$$\Pi\,dV=RT(\sigma_1\,dm_1+\sigma_2\,dm_2)=-\frac{RT(n_1\varpi_1\sigma_1+n_2\varpi_2\sigma_2)}{n_1\varpi_1+n_2\varpi_2}dm_3.$$

Cette égalité donne

$$(17)\quad E(n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)\lambda=E(n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)L+RT(n_1\varpi_1\sigma_1+n_2\varpi_2\sigma_2).$$

La chaleur de formation sous pression constante est, elle aussi, une fonction de la température seule; elle est toujours supérieure à la chaleur de formation sous volume constant;

l'excès de la première chaleur sur la seconde est proportionnel à la température absolue.

Les formules (16) et (17) donnent

$$(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\frac{d\lambda}{dT} = (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)C_3(T) + n_1\varpi_1\left[\gamma_1(T) + \frac{R\sigma_1}{E}\right] + n_2\varpi_2\left[\gamma_2(T) + \frac{R\sigma_2}{E}\right].$$

Soient $C_1(T)$, $C_2(T)$ les chaleurs spécifiques sous pression constante, à la température T, des gaz composants. Nous aurons

$$C_1(T) = \gamma_1(T) + \frac{R\sigma_1}{E},$$

$$C_2(T) = \gamma_2(T) + \frac{R\sigma_2}{E},$$

et la formule précédente deviendra

$$(18)\quad (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\frac{d\lambda}{dT} = n_1\varpi_1 C_1(T) + n_2\varpi_2 C_2(T) - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)C_3(T).$$

Ces formules sont générales; elles n'impliquent aucune hypothèse sur la manière dont les chaleurs spécifiques varient avec la température. Elles supposent seulement que les corps gazeux sont à l'état parfait et que le volume spécifique des corps solides ou liquides est négligeable devant le volume spécifique des gaz.

3. Relation entre la dissociation et la température : A. *Dissociation sous volume constant.* — Imaginons que, le volume du système étant maintenu constant, on élève la température de dT. Les trois quantités m_1, m_2, m_3 augmenteront de

$$\left(\frac{dm_1}{dT}\right)_V dT, \quad \left(\frac{dm_2}{dT}\right)_V dT, \quad \left(\frac{dm_3}{dT}\right)_V dT.$$

On aura d'ailleurs

$$(19)\quad \begin{cases} \left(\dfrac{dm_1}{dT}\right)_V = -\dfrac{n_1\varpi_1}{n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2}\left(\dfrac{dm_3}{dT}\right)_V, \\ \left(\dfrac{dm_2}{dT}\right)_V = -\dfrac{n_2\varpi_2}{n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2}\left(\dfrac{dm_3}{dT}\right). \end{cases}$$

L'égalité (6) peut s'écrire

$$n_1\varpi_1\sigma_1 \log\frac{m_1}{V} + n_2\varpi_2\sigma_2 \log\frac{m_2}{V}$$
$$= \frac{1}{RT}\left\{(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\Psi'_3(T) - n_1\varpi_1[\chi_1(T) + RT\sigma_1] - n_2\varpi_2[\chi_2(T) + RT\sigma_2]\right\}.$$

Différentiée par rapport à T, V étant maintenu constant, elle donne

$$\frac{n_1\varpi_1\sigma_1}{m_1}\left(\frac{dm_1}{dT}\right)_V + \frac{n_2\varpi_2\sigma_2}{m_2}\left(\frac{dm_2}{dT}\right)_V$$
$$= \frac{1}{RT^2}\left\{n_1\varpi_1\left[\chi_1(T) - T\frac{d\chi_1(T)}{dT}\right] + n_2\varpi_2\left[\chi_2(T) - T\frac{d\chi_2(T)}{dT}\right] - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\left[\Psi'_3(T) - T\frac{\partial\Psi'_3(T)}{\partial T}\right]\right\},$$

ou bien, en vertu des égalités (15) et (19),

$$(20)\qquad \frac{(n_1\varpi_1)^2\frac{\sigma_1}{m_1} + (n_2\varpi_2)^2\frac{\sigma_2}{m_2}}{(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)^2}\left(\frac{dm_3}{dT}\right)_V = -\frac{EL}{RT^2}.$$

Cette égalité conduit à la conclusion suivante :

On chauffe, dans une enceinte de volume constant, un composé solide formé par l'union d'éléments gazeux; l'enceinte peut contenir un excès de l'un des gaz composants; si, sous volume constant, le composé est formé avec dégagement de chaleur, toute élévation de température dissocie une partie du composé; l'inverse a lieu si le composé est formé avec absorption de chaleur.

Ce théorème est conforme au principe général du déplacement de l'équilibre avec la température.

B. *Dissociation sous pression constante.* — Supposons qu'on maintienne constante la pression totale Π supportée par le système. Une élévation dT de la température entraîne pour les masses m_1, m_2, m_3 des variations

$$\left(\frac{dm_1}{dT}\right)_\Pi dT,\quad \left(\frac{dm_2}{dT}\right)_\Pi dT,\quad \left(\frac{dm_3}{dT}\right)_\Pi dT,$$

entre lesquelles existent les relations

$$(21)\qquad \begin{cases} \left(\dfrac{dm_1}{dT}\right)_\Pi = -\dfrac{n_1\varpi_1}{n_1\varpi_1+n_2\varpi_2}\left(\dfrac{dm_3}{dT}\right)_\Pi, \\ \left(\dfrac{dm_2}{dT}\right)_\Pi = -\dfrac{n_2\varpi_2}{n_1\varpi_1+n_2\varpi_2}\left(\dfrac{dm_3}{dT}\right)_\Pi. \end{cases}$$

L'égalité (5) donne

$$\begin{aligned} n_1\varpi_1\sigma_1\frac{dp_1}{p_1} + n_2\varpi_2\sigma_2\frac{dp_2}{p_2} \\ = \frac{1}{RT^2}\Big\{ & n_1\varpi_1\left[\chi_1(T) - T\frac{d\chi_1(T)}{dT} + RT\sigma_1\right] \\ & + n_2\varpi_2\left[\chi_2(T) - T\frac{d\chi_2(T)}{dT} + RT\sigma_2\right] \\ & - (n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)\left[\Psi'_3(T) - T\frac{d\Psi'_3(T)}{dT}\right]\Big\}dT, \end{aligned}$$

ou bien, en vertu des égalités (15) et (17),

$$(22)\qquad n_1\varpi_1\sigma_1\frac{dp_1}{p_1} + n_2\varpi_2\sigma_2\frac{dp_2}{p_2} = \frac{E(n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)\lambda}{RT^2}.$$

Mais on a

$$p_1 = \frac{m_1\sigma_1}{m_1\sigma_1+m_2\sigma_2}\Pi,$$

$$p_2 = \frac{m_2\sigma_2}{m_1\sigma_1+m_2\sigma_2}\Pi.$$

Si la pression Π est maintenue constante, ces égalités donnent

$$\frac{dp_1}{p_1} = \left[\frac{1}{m_1}\left(\frac{dm_1}{dT}\right)_\Pi - \frac{\sigma_1}{m_1\sigma_1+m_2\sigma_2}\left(\frac{dm_1}{dT}\right)_\Pi - \frac{\sigma_2}{m_1\sigma_1+m_2\sigma_2}\left(\frac{dm_2}{dT}\right)_\Pi\right]dT,$$

$$\frac{dp_2}{p_2} = \left[\frac{1}{m_2}\left(\frac{dm_2}{dT}\right)_\Pi - \frac{\sigma_1}{m_1\sigma_1+m_2\sigma_2}\left(\frac{dm_1}{dT}\right)_\Pi - \frac{\sigma_2}{m_1\sigma_1+m_2\sigma_2}\left(\frac{dm_2}{dT}\right)_\Pi\right]dT,$$

ou bien, en vertu des égalités (21),

$$(n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)\frac{dp_1}{p_1} = \left(\frac{n_1\varpi_1\sigma_1+n_2\varpi_2\sigma_2}{m_1\sigma_1+m_2\sigma_2} - \frac{n_1\varpi_1\sigma_1}{m_1\sigma_1}\right)\left(\frac{dm_3}{dT}\right)_\Pi dT,$$

$$(n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)\frac{dp_2}{p_2} = \left(\frac{n_1\varpi_1\sigma_1+n_2\varpi_2\sigma_2}{m_1\sigma_1+m_2\sigma_2} - \frac{n_2\varpi_2\sigma_2}{m_2\sigma_2}\right)\left(\frac{dm_3}{dT}\right)_\Pi dT.$$

L'égalité (22) peut donc s'écrire

$$(23)\quad \frac{\dfrac{(n_1\varpi_1\sigma_1+n_2\varpi_2\sigma_2)^2}{m_1\sigma_1+m_2\sigma_2}-\dfrac{(n_1\varpi_1\sigma_1)^2}{m_1\sigma_1}-\dfrac{(n_2\varpi_2\sigma_2)^2}{m_2\sigma_2}}{(n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)^2}\left(\frac{dm_3}{dT}\right)_\Pi=\frac{E\lambda}{RT^2}.$$

Une transformation analogue à celle que nous avons effectuée à la page 79 permet d'écrire

$$\frac{(n_1\varpi_1\sigma_1)^2}{m_1\sigma_1}+\frac{(n_2\varpi_2\sigma_2)^2}{m_2\sigma_2}-\frac{(n_1\varpi_1\sigma_1+n_2\varpi_2\sigma_2)^2}{m_1\sigma_1+m_2\sigma_2}$$
$$=-\frac{(n_1\varpi_1 m_1+n_2\varpi_2 m_2)^2\,\sigma_1^2\sigma_2^2}{m_1\sigma_1\,m_2\sigma_2(m_1\sigma_1+m_2\sigma_2)}.$$

L'égalité (23), dans laquelle le premier membre est assurément de signe contraire à $\left(\frac{dm_3}{dT}\right)_\Pi$, conduit à la proposition suivante :

On chauffe sous pression constante un composé solide ou liquide formé par l'union de deux éléments gazeux. L'enceinte peut renfermer un excès de l'un de ces deux éléments. Si, sous pression constante, le composé se forme avec dégagement de chaleur, tout accroissement de température entraîne une diminution de la masse du composé; l'inverse a lieu si le composé est formé avec absorption de chaleur.

Ce théorème est encore une conséquence du principe général sur le déplacement de l'équilibre avec la température.

4. Formules simplifiées. — Jusqu'ici, nous n'avons rien supposé sur la manière dont variaient les chaleurs spécifiques des corps solides, liquides ou gazeux lorsqu'on faisait varier la température. Nous allons maintenant supposer que, entre les limites de température où l'on se propose d'opérer et au degré d'approximation que l'on suppose réalisé, ces diverses chaleurs spécifiques soient regardées comme indépendantes de la température; nous rentrerons alors dans les hypothèses faites au § I du Chapitre précédent.

Nous aurons [Chap. VI, égalité (4)]

$$\Psi''_3\ T=-EC_3T\log T+\alpha_3T+\beta_3,$$

et aussi (*voir* p. 20)

$$\chi_1(T) = -E\gamma_1 T \log T + \alpha_1 T + \beta_1,$$
$$\chi_2(T) = -E\gamma_2 T \log T + \alpha_2 T + \beta_2.$$

Nos diverses formules vont alors se simplifier.

Posons

$$(24)\quad \begin{cases} M = \dfrac{(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\beta_3 - n_1\varpi_1\beta_1 - n_2\varpi_2\beta_2}{R}, \\ N = \dfrac{E}{R}[n_1\varpi_1\gamma_1 + n_2\varpi_2\gamma_2 - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)C_3], \\ Z = \dfrac{1}{R}[(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\alpha_3 - n_1\varpi_1(\alpha_1 + R\sigma_1) - n_2\varpi_2(\alpha_2 + R\sigma_2)], \end{cases}$$

et les égalités (5), (6), (15) et (17) deviendront

$$(6\,bis)\qquad \log\left(\frac{m_1^{n_1\varpi_1\sigma_1} m_2^{n_2\varpi_2\sigma_2}}{V^{n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2}}\right) = \frac{M}{T} + N\log T + Z,$$

$$(5\,bis)\quad \begin{cases} \log(p_1^{n_1\varpi_1\sigma_1} p_2^{n_2\varpi_2\sigma_2}) = \dfrac{M}{T} + (N + n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2)\log T \\ \qquad\qquad + Z + n_1\varpi_1\sigma_1 \log R\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2 \log R\sigma_2, \end{cases}$$

$$(15\,bis)\quad (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)L = \frac{R}{E}(NT - M),$$

$$(17\,bis)\quad (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\lambda = \frac{R}{E}[(N + n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2)T - M].$$

Ces deux dernières égalités nous montrent que *la chaleur de formation du composé, soit sous pression constante, soit sous volume constant, est fonction linéaire de la température.*

Si, à la deuxième égalité (24), nous joignons les égalités

$$\gamma_1 + \frac{R\sigma_1}{E} = C_1,$$
$$\gamma_2 + \frac{R\sigma_2}{E} = C_2,$$

nous trouvons

$$(25)\quad N + n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2 = n_1\varpi_1 C_1 + n_2\varpi_2 C_2 - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)C_3.$$

Cette relation (25) nous permet de prévoir le signe que N aura en général.

Supposons que le corps 3 puisse être volatilisé et réduit à l'état

de gaz parfait. Sa chaleur spécifique sous pression constante aurait pour valeur C'_3.

D'après la loi de Delaroche et Bérard, on aurait

$$n_1\varpi_1 C_1 + n_2\varpi_2 C_2 = (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\, C'_3,$$

en sorte que l'égalité (25) pourrait s'écrire

$$N + n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2 = (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)(C'_3 - C_3).$$

Mais la chaleur spécifique d'un corps solide ou liquide est, en général, beaucoup plus grande que la chaleur spécifique sous pression constante du même corps à l'état gazeux. Donc la quantité

$$N + n_1\varpi_1\sigma_1 + n_2\varpi_2\sigma_2$$

est en général négative; il en est *a fortiori* de même de la quantité N.

Ainsi, *en général, les deux chaleurs de formation sous pression constante et sous volume constant décroissent lorsque la température croît.*

§ II. — Dissociation de l'acide sélénhydrique et des composés analogues.

L'acide sélénhydrique gazeux, que nous désignerons par l'indice 3, se dissocie en hydrogène gazeux, que nous désignerons par l'indice 1, et en sélénium liquide, que nous désignerons par l'indice 2. C'est là un nouveau type de dissociation que nous allons étudier.

Le potentiel thermodynamique du mélange, sous la pression constante Π, à la température T, aura une valeur Φ, qui se déduira de l'égalité (1) en permutant les deux indices 2 et 3; cette valeur sera

$$(26)\quad \left\{\begin{aligned} \Phi = {} & m_1[\chi_1(T) + RT\sigma_1 \log p_1 + RT\sigma_1(1 - \log RT\sigma_1)] + m_2\Psi'_2(T) \\ & + m_3[\chi_3(T) + RT\sigma_3 \log p_3 + RT\sigma_3(1 - \log RT\sigma_3)]. \end{aligned}\right.$$

En raisonnant comme on a raisonné pour établir les égalités (3),

on trouvera

$$(27)\quad \begin{cases} \dfrac{\partial\Phi}{\partial m_1} = \chi_1(T) + RT\sigma_1 \log p_1 + RT\sigma_1(1 - \log RT\sigma_1), \\ \dfrac{\partial\Phi}{\partial m_2} = \Psi'_2(T), \\ \dfrac{\partial\Phi}{\partial m_3} = \chi_3(T) + RT\sigma_3 \log p_3 + RT\sigma_3(1 - \log RT\sigma_3). \end{cases}$$

Donnons au système, maintenu à température constante, sous une pression constante, une modification virtuelle infiniment petite; les quantités m_1, m_2, m_3 subiront des variations dm_1, dm_2, dm_3, telles que l'on ait

$$dm_1 = -\frac{n_1\varpi_1}{n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2}\,dm_3, \qquad dm_2 = -\frac{n_2\varpi_2}{n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2}\,dm_3.$$

La condition d'équilibre du système, obtenue en égalant à o la variation virtuelle du potentiel thermodynamique sous pression constante, sera

$$n_1\varpi_1\frac{\partial\Phi}{\partial m_1} + n_2\varpi_2\frac{\partial\Phi}{\partial m_2} - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\frac{\partial\Phi}{\partial m_3} = 0$$

ou bien, en vertu des égalités (27),

$$(28)\quad \begin{cases} RT[n_1\varpi_1\sigma_1 \log p_1 - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\sigma_3 \log p_3] \\ \quad + n_1\varpi_1\chi_1(T) + n_2\varpi_2\Psi'_2(T) - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\chi_3(T) \\ \quad + RT[n_1\varpi_1\sigma_1(1 - \log RT\sigma_1) \\ \qquad\qquad - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\sigma_3(1 - \log RT\sigma_3)] = 0. \end{cases}$$

Cette condition d'équilibre peut s'écrire encore

$$(29)\quad \begin{cases} RT\left[n_1\varpi_1\sigma_1 \log\dfrac{m_1}{V} - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\sigma_3 \log\dfrac{m_3}{V}\right] \\ \quad + n_1\varpi_1[\chi_1(T) + RT\sigma_1] + n_2\varpi_2\Psi'_2(T) \\ \qquad\qquad - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)[\chi_3(T) + RT\sigma_3] = 0. \end{cases}$$

Discutons les conséquences de ces équations.

1. Equilibre a température constante. — Si la température est maintenue constante, les équations (28) et (29) prennent la

forme

$$(30)\qquad \frac{p_1^{n_1\varpi_1\sigma_1}}{p_3^{(n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)\sigma_3}} = \text{const.},$$

$$(31)\qquad V^{[(n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)\sigma_3-n_1\varpi_1\sigma_1]} \times \frac{m_1^{n_1\varpi_1\sigma_1}}{m_3^{(n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)\sigma_3}} = \text{const.}$$

Examinons seulement la première de ces deux équations : la seconde peut s'étudier d'une manière analogue.

Nous distinguerons trois cas :

A. *Le volume du composé est égal au volume du composant gazeux.* — C'est le cas de l'acide sélénhydrique, formé aux dépens du sélénium solide ou liquide et de l'hydrogène; de l'acide tellurhydrique, formé aux dépens du tellure solide et de l'hydrogène.

Dans ce cas, on a

$$(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\sigma_3 = n_1\varpi_1\sigma_1,$$

et l'égalité (30) devient

$$(32)\qquad \frac{p_1}{p_3} = \text{const.}$$

A une température déterminée, il y a un rapport constant entre la pression partielle du composé dans le mélange gazeux et la pression partielle du composant gazeux; ce rapport ne dépend pas de la pression totale que supporte le système.

B. *Le volume du composé est inférieur au volume du composant gazeux.* — Ce cas nous est présenté par la dissociation de l'hexachlorure de silicium en tétrachlorure de silicium et en silicium.

On a, dans ce cas,

$$n_1\varpi_1\sigma_1 > (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\sigma_3.$$

L'équation (30), mise sous la forme

$$p_1^{[n_1\varpi_1\sigma_1-(n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)\sigma_3]} \times \left(\frac{p_1}{p_3}\right)^{(n_1\varpi_1+n_2\varpi_2\sigma_3)} = \text{const.},$$

nous montre que, *à une température donnée, le rapport qui existe*

entre la pression partielle du composant gazeux et la pression partielle du composé est d'autant plus grand que la pression partielle du composant est plus faible.

C. *Le volume du composé est supérieur au volume du composant gazeux.* — Ce cas nous est présenté par l'acide iodhydrique formé aux dépens de l'iode liquide et de l'hydrogène.

Dans ce cas, on aurait

$$n_1\varpi_1\sigma_1 < (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\sigma_3;$$

l'équation (30) deviendrait

$$\frac{1}{p_1^{[(n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)\sigma_3-n_1\varpi_1\sigma_1]}} \times \left(\frac{p_1}{p_3}\right)^{(n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)\sigma_3} = \text{const.},$$

et mettrait en évidence le résultat suivant :

A une température déterminée, le rapport entre la pression partielle du composant gazeux et la pression partielle du composé serait d'autant plus grand que la première pression serait elle-même plus grande.

2. Chaleur de formation. — Soient L la chaleur de formation du composé sous volume constant, et λ la chaleur de formation du composé sous pression constante. Des raisonnements analogues à ceux qui ont servi à établir les égalités (15), (16), (17) et (18) nous donneront

$$(33)\quad \left\{\begin{aligned} E(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\,L = {} & n_1\varpi_1\left[\chi_1(T) - T\frac{d}{dT}\chi_1(T)\right] \\ & + n_2\varpi_2\left[\Psi_2'(T) - T\frac{d}{dT}\Psi_2'(T)\right] \\ & - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\left[\chi_3(T) - T\frac{d}{dT}\chi_3(T)\right], \end{aligned}\right.$$

$$(34)\quad \left\{\begin{aligned} (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\frac{dL}{dT} = {} & n_1\varpi_1\gamma_1(T) \\ & + n_2\varpi_2 C_2(T) - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\gamma_3(T), \end{aligned}\right.$$

$$(35)\quad \left\{\begin{aligned} E(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\,\lambda = {} & E(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\,L \\ & + RT[n_1\varpi_1\sigma_1 - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\sigma_3], \end{aligned}\right.$$

$$(36)\quad \left\{\begin{aligned} (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\frac{d\lambda}{dT} = {} & n_1\varpi_1 C_1(T) \\ & + n_2\varpi_2 C_2(T) - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)C_3(T). \end{aligned}\right.$$

Les égalités (33) et (35) montrent que *les deux chaleurs de formation du composé sont des fonctions de la température seule.*

L'égalité (35) montre en outre que *la chaleur de formation sous pression constante est inférieure, égale, ou supérieure à la chaleur de formation sous volume constant, selon que le volume du composant gazeux est inférieur, égal ou supérieur au volume du composé.*

3. Relation entre la dissociation et la température. — Des raisonnements analogues à ceux qui nous ont servi à établir les égalités (20) et (23) nous donneront

$$(37)\qquad \frac{(n_1\varpi_1)^2\frac{\sigma_1}{m_1}+(n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)^2\frac{\sigma_3}{m_3}}{(n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)^2}\left(\frac{dm_3}{dT}\right)_V=-\frac{EL}{RT^2},$$

$$(38)\qquad \frac{[n_1\varpi_1 m_1+(n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)m_3]^2\sigma_1^2\sigma_3^2}{(n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)^2 m_1\sigma_1 m_3\sigma_3(m_1\sigma_1+m_3\sigma_3)}\left(\frac{dm_3}{dT}\right)_\Pi=-\frac{E\lambda}{RT^2}.$$

L'égalité (37) nous montre que, *lorsqu'on élève la température du système en maintenant constant son volume, la masse du composé diminue ou augmente selon que, sous volume constant, la combinaison dégage de la chaleur ou en absorbe.*

L'égalité (38) nous montre que, *lorsqu'on élève la température du système en maintenant constante la pression qu'il supporte, la masse du composé diminue ou augmente, selon que, sous pression constante, la combinaison dégage de la chaleur ou en absorbe.*

Ces propositions sont conformes à la loi du déplacement de l'équilibre chimique avec la température.

4. Influence de la volatilité du composant solide ou liquide. — Le sélénium est volatil et émet des vapeurs; dans la théorie précédente, le corps solide ou liquide 2 n'a pas été supposé volatil, on n'a pas supposé que le mélange gazeux renfermât des vapeurs de ce corps; quelle perturbation la présence de ces vapeurs peut-elle apporter aux lois précédentes?

Soit p_2 la pression partielle de ces vapeurs dans le mélange gazeux. Supposons que le mélange gazeux renferme une masse μ_2

de ces vapeurs. Soit $\psi'_2(p_2, T)$ le potentiel thermodynamique sous la pression constante p_2, à la température T, de l'unité de masse de ces vapeurs.

Si le mélange gazeux est traité comme un mélange de gaz parfaits, le potentiel thermodynamique du système, à la température T, sous la pression constante

$$\Pi = p_1 + p_2 + p_3. \tag{39}$$

aura pour valeur

$$\Phi = m_1 \Psi'_1(p_1, T) + m_2 \Psi'_2(T) + \mu_2 \psi'_2(p_2, T) + m_3 \Psi'_3(p_3, T),$$

et nous aurons, en prenant Π, T, m_1, m_2, μ_2, m_3 pour variables,

$$\frac{\partial \Phi}{\partial m_1} = \Psi'_1(p_1, T),$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial m_2} = \Psi'_2(T),$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \mu_2} = \psi'_2(p_2, T),$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial m_3} = \Psi'_3(p_3, T).$$

Trois modifications virtuelles distinctes peuvent être imposées au système; chacune d'elles, effectuée sous pression constante et à température constante, doit, pour l'équilibre, imposer à Φ une variation nulle :

1° Une vaporisation infiniment petite se produit; on a alors

$$d\mu_2 = -dm_2, \qquad dm_1 = 0, \qquad dm_3 = 0,$$

et l'on obtient la condition d'équilibre

$$\Psi'_2(T) = \psi'_2(p_2, T). \tag{40}$$

2° Une masse infiniment petite du composé 3 se forme aux dépens du corps 1 et du corps 2 solide ou liquide; on a alors

$$dm_1 = -\frac{n_1 \varpi_1}{n_1 \varpi_1 + n_2 \varpi_2} dm_3, \qquad dm_2 = -\frac{n_2 \varpi_2}{n_1 \varpi_1 + n_2 \varpi_2} dm_3, \qquad d\mu_2 = 0,$$

et l'on obtient la condition d'équilibre

$$n_1 \varpi_1 \Psi'_1(p_1, T) + n_2 \varpi_2 \Psi'_2(T) - (n_1 \varpi_1 + n_2 \varpi_2) \Psi'_3(p_3, T) = 0. \tag{41}$$

3° Une masse infiniment petite du corps 3 se forme aux dépens du corps 1 et des vapeurs du corps 2; on a alors

$$dm_1 = -\frac{n_1\varpi_1}{n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2}\,dm_3, \qquad d\mu_2 = -\frac{n_2\varpi_2}{n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2}\,dm_3, \qquad dm_2 = 0,$$

et l'on obtient la condition d'équilibre

$$(42)\quad n_1\varpi_1\Psi'_1(p_1, T) + n_2\varpi_2\psi'_2(p, T) - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\Psi'_3(p_3, T) = 0.$$

L'équation (42) est une conséquence des équations (40) et (41); il suffit donc de considérer ces dernières.

L'équation (40) nous enseigne que *les vapeurs du corps* 2 *atteignent dans le mélange gazeux, à la température* T, *la même tension que dans le vide à la même température.*

L'équation (41) nous enseigne que *la relation qui lie la pression partielle du composé, la pression partielle du composant entièrement gazeux et la température est la même que si le second composant n'était pas volatil.*

On pourra donc conserver toute la théorie développée précédemment dans l'hypothèse où le corps 2 n'était pas volatil; on devra seulement observer que l'on n'a plus maintenant pour valeur de la pression totale

$$\Pi = p_1 + p_3,$$

mais

$$\Pi = p_1 + p_2 + p_3.$$

La théorie de la dissociation d'un composé gazeux en un élément gazeux et un élément solide ou liquide, développée en supposant que ce dernier élément n'est pas volatil, s'étend au cas où cet élément est volatil, à condition de substituer à la pression totale, partout où elle entre en ligne de compte, l'excès de cette pression sur la tension des vapeurs que l'élément solide ou liquide émet dans le vide à la même température.

Cette remarque s'étend à la dissociation, étudiée au paragraphe précédent, d'un composé solide en deux éléments gazeux.

5. Formules simplifiées. — Les formules précédentes ne supposent rien sur la manière dont les chaleurs spécifiques des corps solides, liquides ou gazeux varient avec la température. Supposons

maintenant que ces chaleurs spécifiques soient indépendantes de la température. Nous aurons [Chap. VI, égalité (4)]

$$\Psi'_2(T) = -EC_2T\log T + \alpha_2 T + \beta_2,$$

et aussi (*voir* p. 20)

$$\chi_1(T) = -E\gamma_1 T\log T + \alpha_1 T + \beta_1,$$
$$\chi_3(T) = -E\gamma_3 T\log T + \alpha_3 T + \beta_3.$$

Dès lors, si nous posons

$$(43)\quad \left\{\begin{aligned} M &= \frac{(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\beta_3 - n_1\varpi_1\beta_1 - n_2\varpi_2\beta_2}{R},\\ N &= \frac{E}{R}[n_1\varpi_1\gamma_1 + n_2\varpi_2 C_2 - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\gamma_3],\\ Z &= \frac{1}{R}[(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)(\alpha_3 + R\sigma_3)\\ &\qquad - n_1\varpi_1(\alpha_1 + R\sigma_1) - n_2\varpi_2(\alpha_2 + R\sigma_2)], \end{aligned}\right.$$

nos égalités (28), (29), (33) et (35) vont se simplifier et prendre la forme

$$(29\,bis)\quad \log\left\{V^{[(n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)\sigma_3 - n_1\varpi_1\sigma_1]} \times \frac{m_1^{n_1\varpi_1\sigma_1}}{m_3^{(n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)\sigma_3}}\right\} = \frac{M}{T} + N\log T + Z,$$

$$(28\,bis)\quad \left\{\begin{aligned} \log\left[\frac{p_1^{n_1\varpi_1\sigma_1}}{p_3^{(n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)\sigma_3}}\right] &= \frac{M}{T} + [N + n_1\varpi_1\sigma_1 - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\sigma_3]\log T\\ &\quad + Z + n_1\varpi_1\sigma_1\log R\sigma_1 - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\sigma_3\log R\sigma_3 \end{aligned}\right.$$

$$(33\,bis)\quad (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)L = \frac{R}{E}(NT - M),$$

$$(35\,bis)\quad (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\lambda = \frac{E}{R}\left\{[N + n_1\varpi_1\sigma_1 - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\sigma_3]T - M\right\}.$$

Nous allons discuter ces formules.

Cette discussion repose sur deux remarques, que nous allons tout d'abord établir.

Nous avons

$$C_1 = \gamma_1 + \frac{R\sigma_1}{E},$$

$$C_3 = \gamma_3 + \frac{R\sigma_3}{E}.$$

La seconde égalité (43) nous permet donc d'écrire

$$N + n_1\varpi_1\sigma_1 - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\sigma_3 = \frac{E}{R}[n_1\varpi_1 C_1 + n_2\varpi_2 C_2 - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)C_3].$$

L'élément 2, réduit à l'état de gaz, aurait une chaleur spécifique sous pression constante égale à C'_2. La loi de Delaroche et Bérard nous donnerait

$$n_1\varpi_1 C_1 + n_2\varpi_2 C'_2 - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)C_3 = 0.$$

L'égalité précédente peut donc s'écrire

$$N + n_1\varpi_1\sigma_1 - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\sigma_3 = \frac{E}{R} n_2\varpi_2(C_2 - C'_2).$$

Un même corps a, en général, une chaleur spécifique plus grande à l'état solide ou liquide qu'à l'état de gaz; $C_2 - C'_2$ est donc, en général, positif.

Ainsi, *en général, la quantité*

$$N + n_1\varpi_1\sigma_1 - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\sigma_3$$

est positive.

Il en résulte que *la quantité* N *est assurément positive si le volume du composé est égal ou supérieur au volume du composant gazeux;* le signe de N ne peut être douteux que si le volume du composé est inférieur au volume du composant gazeux. Dans les discussions qui vont suivre, *nous admettrons que la quantité* N *est toujours positive.*

6. Variations des chaleurs de formation. — Les formules (33 *bis*) et (35 *bis*) nous montrent :

1° *Que la chaleur de formation sous volume constant et la chaleur de formation sous pression constante sont toutes deux des fonctions linéaires de la température;*

2° *Que ces deux chaleurs de formation croissent lorsque la température croît.*

Si la constante M est positive, aux basses températures, le composé se forme avec absorption de chaleur, tant sous pression constante que sous volume constant.

La chaleur de formation sous pression constante devient égale à o à la température

$$(44) \qquad \theta = \frac{M}{N + n_1\varpi_1\sigma_1 - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\sigma_3}.$$

Aux températures plus élevées, le corps se forme, sous pression constante, avec dégagement de chaleur.

La chaleur de formation sous volume constant devient égale à o à la température

$$(45) \qquad \theta' = \frac{M}{N}.$$

Aux températures supérieures à θ' le corps se forme, sous volume constant, avec dégagement de chaleur.

La température θ est supérieure, égale ou inférieure à la température θ' selon que le volume du composé est supérieur, égal ou inférieur au volume du composé gazeux.

Si la constante M est négative, le corps se forme avec dégagement de chaleur, tant sous pression constante que sous volume constant.

7. Dissociation sous pression constante. — Soit Π la pression totale que nous supposerons maintenue constante. Nous aurons

$$p_1 = \Pi - p_3,$$

en sorte que l'égalité (28 *bis*) deviendra

$$\log\left[\frac{(\Pi - p_3)^{n_1\varpi_1\sigma_1}}{p_3^{(n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)\sigma_3}}\right] = \frac{M}{T} + [N + n_1\varpi_1\sigma_1 - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\sigma_3]\log T$$
$$+ Z + n_1\varpi_1\sigma_1\log R\sigma_1 - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\sigma_3\log R\sigma_3.$$

En discutant cette formule, on arrive sans peine aux résultats suivants :

Si la constante M *est positive,* le composé, chauffé sous pression constante, présente les phénomènes suivants :

Au zéro absolu, la pression partielle de la combinaison est nulle. La pression partielle du composant gazeux est égale à la pression totale.

Lorsque la température croît, la pression partielle de la combinaison va en augmentant, jusqu'au moment où la température prend la valeur Θ définie par l'équation (44).

Si la température, dépassant la valeur Θ, continue à croître, la pression partielle de la combinaison décroît de nouveau ; elle tend vers o lorsque la température croît au delà de toute limite.

La température Θ est, pour la combinaison chauffée sous pression constante, un maximum de stabilité.

Si la constante M *est négative,* la pression partielle de la combinaison est, au zéro absolu, égale à la pression totale. Elle diminue lorsque la température croît et tend vers o lorsque la température croît au delà de toute limite.

8. Dissociation sous volume constant. — Supposons maintenant que l'on chauffe le système dans une enceinte dont le volume V est maintenu constant. La formule (29 *bis*), discutée, conduit aux résultats suivants :

Si la constante M *est positive,* au zéro absolu, le système ne renferme pas trace de la combinaison.

Lorsque la température croît, la masse de la combinaison que contient le système va en croissant jusqu'à ce que la température atteigne la valeur Θ', définie par l'égalité (45).

Si la température, dépassant la valeur Θ', continue à croître, la masse de la combinaison contenue dans le système décroît de nouveau et tend vers o lorsque la température croît au delà de toute limite.

La température Θ' est un maximum de stabilité pour la combinaison chauffée sous volume constant.

Si la constante M *est négative,* au zéro absolu, la combinaison est intégrale; au fur et à mesure que la température s'élève, la masse de la combinaison contenue dans le système diminue; elle tend vers o lorsque la température croît au delà de toute limite.

9. Vérifications expérimentales. — Tous les corps qui rentrent dans la catégorie qui nous occupe au présent paragraphe, et dont on a étudié la dissociation, sont formés avec absorption de chaleur aux températures où ils ont été observés. Ce sont donc des corps pour lesquels la constante M est négative.

Ces corps, pris soit sous volume constant, soit sous pression constante, seront d'autant plus stables que la température sera plus élevée. Si l'on chauffe ensemble les deux éléments capables de former un semblable composé, c'est seulement aux températures élevées que l'on observera la formation d'une quantité notable du composé.

Mais le composé formé, quoique la théorie précédente le présente comme instable à basse température, pourra être observé à une basse température, et même d'autant plus facilement que la température est plus basse. C'est une anomalie sur laquelle nous avons bien souvent insisté.

Ces principes permettent aisément de rendre compte des faits suivants :

L'*hexachlorure de silicium* (1) peut s'obtenir en faisant passer du tétrachlorure de silicium sur du silicium à une température très élevée, égale environ à 1200°. L'hexachlorure de silicium, bien qu'instable, peut être observé aux basses températures, en sorte que, si le courant de gaz qui passe sur le silicium est rapide, on peut recueillir l'hexachlorure formé et le condenser à l'état liquide.

L'hexachlorure de silicium ne se décompose pas aux basses températures; il se décompose lentement à 350°, plus rapidement à 440°, et tout à fait brusquement aux températures plus élevées. Aussi, si l'on fait passer *lentement* du tétrachlorure de silicium sur du silicium chauffé à 1200°, l'hexachlorure formé se décomposera en totalité aux points du tube dont la température avoisine 700°, en y formant un feutrage d'aiguilles de silicium cristallisé; ce phénomène présente l'aspect d'une *volatilisation apparente* du silicium, volatilisation qui aurait porté le silicium des régions chaudes aux régions plus froides.

Le *protochlorure de platine* (2) présente des phénomènes analogues.

Lorsqu'on fait passer à 1200° de l'oxygène en courant rapide sur du bioxyde de ruthénium amorphe, on obtient de l'*acide*

---

(1) TROOST et HAUTEFEUILLE, *Comptes rendus*, t. LXXIII, p. 443 et 563; 1871; t. LXXXIV, p. 946; 1877.

(2) TROOST et HAUTEFEUILLE, *Comptes rendus*, t. LXXXIV, p. 946; 1877.

hyperrhuténique que l'on peut, comme l'ont fait Debray et M. Joly, aux basses températures, recueillir et observer en le condensant à l'état liquide.

L'acide hyperrhuténique, que l'on peut observer à basse température, se décompose avec explosion à une température peu élevée. Aussi, si l'on fait passer lentement le courant d'oxygène sur le bioxyde de ruthénium, l'acide hyperrhuténique formé se décompose dans la région où le tube sort du fourneau à réverbère et y dépose des cristaux de bioxyde de rhuténium. On obtient ainsi une volatilisation apparente du bioxyde de rhuténium.

Berzelius avait déjà observé que si, au rouge vif, on fait passer de l'hydrogène sur du tellure, on peut obtenir des aiguilles de tellure cristallisé dans la région de l'appareil dont la température avoisine 500°. Cette volatilisation apparente s'explique, comme les précédentes, par la formation, au rouge, d'*acide tellurhydrique* (1) qui se dissocie aux températures plus basses. En refroidissant brusquement le mélange gazeux, on peut y déceler la présence de cet acide.

Tous ces phénomènes sont souvent interprétés comme mettant en évidence l'existence d'un *minimum de stabilité* du composé. On voit que, dans la théorie que nous venons d'exposer, un pareil minimum n'existe pas. Il est dû à la possibilité de conserver le corps, à basse température, à l'état de faux équilibre. La stabilité vraie du composé, dans tous les exemples que nous venons de citer, croît constamment avec la température.

Parmi les phénomènes de dissociation qui rentrent dans la catégorie étudiée au présent paragraphe, il en est un qui a été suivi de plus près que tout autre : c'est la dissociation de l'acide *sélénhydrique,* qui a été, de la part de M. Ditte (2), l'objet de recherches étendues.

L'acide sélénhydrique a un volume égal à celui de l'hydrogène qui concourt à sa formation. Donc, à une température détermi-

---

(1) Ditte, *Annales de l'École Normale supérieure,* 2e série, t. I, p. 293; 1872.

(2) Ditte, *Recherches sur la volatilisation apparente du sélénium et du tellure et sur la dissociation de leurs combinaisons hydrogénées* (*Annales de l'École Normale supérieure* 2e série, t. I, p. 293; 1872).

née, le rapport de la masse d'acide sélénhydrique, qui existe dans le système au moment de l'équilibre, à la masse totale d'hydrogène, libre ou combiné, doit être *indépendant de la pression*.

Les expériences de M. Ditte montrent que cette loi est sensiblement vérifiée, et cela d'autant mieux que la température est plus élevée.

Voici les nombres obtenus en introduisant, à des pressions différentes, l'hydrogène dans les tubes mis en expérience :

Pression de l'hydrogène introduit.	Rapport de la pression partielle de l'acide sélénhydrique à la pression totale.
1° *Tubes chauffés à* 350° *pendant* 38 *heures.*	
520 mm	29,5
940	32,4
2° *Tubes chauffés à* 440° *pendant* 48 *heures.*	
506	45,8
940	46,8

Examinons maintenant l'*influence de la température*.

D'après M. Hautefeuille, l'acide sélénhydrique se forme aux dépens du sélénium liquide et de l'hydrogène avec absorption de chaleur. L'acide sélénhydrique est donc un gaz pour lequel la constante M est positive.

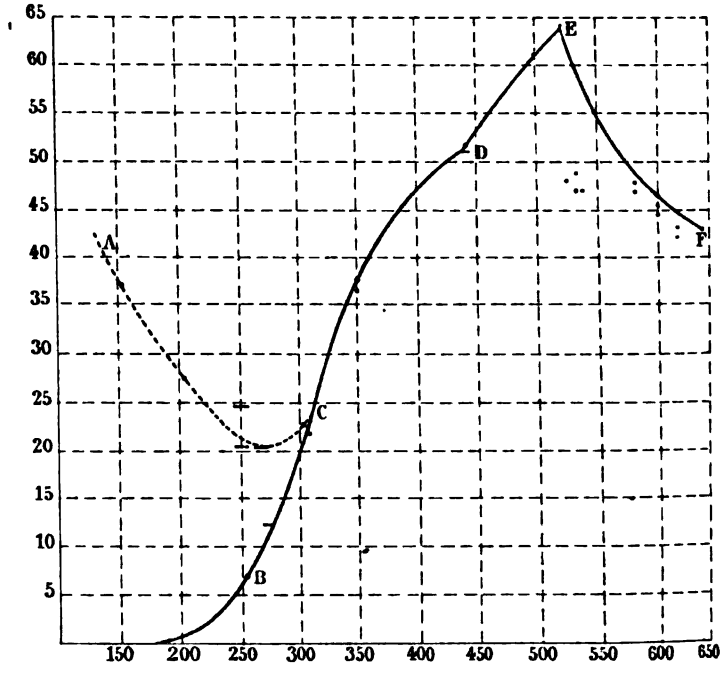
La stabilité de l'acide sélénhydrique, lorsqu'on élève sa température en maintenant son volume constant, doit aller en croissant.

En effet, si l'on chauffe en vase clos du sélénium et de l'hydrogène pendant un temps suffisamment long et si, au bout de ce temps, on détermine, après un refroidissement brusque, la quantité d'acide sélénhydrique formé, ce qui permet de calculer le nombre de centièmes de la pression totale de l'hydrogène et de l'acide sélénhydrique, qui est représenté par la pression partielle de l'acide sélénhydrique, on trouve les résultats suivants :

Température.	Durée de l'expérience	$\frac{p_2}{\Pi}$.
155°	260h	0,0
203	214	0,0
255	194	6,8
270 à 275	170	12,0
305	169	22,3
325	150	28,8
350	69	37,8
350	74	37,0
440	69	51,2
440	165	51,7
500	16	60,7
520	22	63,9

Les résultats sont représentés par la branche de courbe BCDE (*fig.* 12).

Fig. 12.



On remarque, en D, un point anguleux de la courbe due sans doute à ce que la chaleur spécifique du sélénium liquide n'est pas,

comme le suppose la théorie précédente, indépendante de la température, mais subit, à certaines températures, de brusques variations, comme il arrive pour la chaleur spécifique du soufre liquide.

La proportion d'acide sélénhydrique formé est absolument inappréciable aux températures inférieures à 200°. L'acide sélénhydrique peut donc, sans erreur sensible, être regardé comme absolument instable aux températures inférieures à 200°. Il n'en résulte pas qu'il ne puisse être conservé à ces températures. On le conservera même d'autant plus aisément que la température est plus basse. Aussi, lorsque, au lieu de déterminer, à une certaine température, la proportion d'acide sélénhydrique formé à partir des éléments, on détermine la proportion d'acide sélénhydrique restant dans un système qui renfermait d'abord un excès de cet acide et que l'on a ensuite maintenu longtemps à cette température, les résultats trouvés ne concordent pas avec ceux que donne la première méthode, si ce n'est aux températures supérieures à 300°. Au-dessous de cette température, on trouve que le système renferme une proportion d'acide sélénhydrique supérieure à celle qui se formerait directement dans les mêmes circonstances. L'écart est d'autant plus marqué que la température est plus basse. C'est ce que marquent les résultats des expériences de M. Ditte contenus dans le Tableau suivant :

Température.	Durée de l'expérience.	$\frac{P_s}{\Pi}$.
155°	214h	37,0
203	168	27,7
245 à 255	24	28,1
245 à 255	27	27,3
245 à 255	72	24,6
270 à 275	170	20,2
270 à 275	170	20,3
305	120	22,6
325	140	28,9
350	18	37,9
350	30	37,0
440	20	51,2
440	29	51,7

Ces résultats sont représentés par la branche de courbe AC

(*fig.* 12). Ils montrent un *apparent minimum de stabilité* de l'acide sélénhydrique; nous disons *apparent*, pour rappeler ce fait que les états d'équilibre représentés par la branche de courbe AC rentrent dans la catégorie que nous avons nommée *états de faux équilibre*. Les états d'équilibre véritable sont représentés par la branche BCDE.

D'après la théorie précédente, l'acide sélénhydrique, chauffé sous volume constant, doit présenter un *maximum de stabilité* à la température

$$\theta' = \frac{M}{N}.$$

Il semble, au premier abord, que les expériences de M. Ditte aient mis en évidence ce maximum de stabilité. En effet, tandis que la proportion d'acide sélénhydrique formé augmente avec la température jusqu'à ce que celle-ci atteigne 520°, elle diminue rapidement lorsque la température croît au delà de 520°, comme le montrent les nombres suivants :

Température.	Durée de l'expérience.	$\frac{p_2}{H}$.
520°	22h	63,9
550	2	48,1
560	3	48,8
560	3	47,0
580	42	46,7
580	42	47,3
600	42	46,4
600	2	46,0
600	3	45,3
600	5	44,3
620	3	42,0
620	3	42,3
620	4	42,7
640	2	43,2
640	3	43,1

Mais un examen plus approfondi de la question montre que l'on n'a pas observé ainsi le véritable maximum de stabilité de l'acide sélénhydrique. En effet :

1° La température Θ', définie par l'égalité (45), est assurément beaucoup plus élevée que 520°;

2° La branche de courbe EF (*fig.* 12), qui représente les nombres du Tableau précédent, coupe la branche ABCDE en formant avec elle un point nettement anguleux.

Il est probable (¹) que, à partir de 520°, l'appareil employé par M. Ditte ne renfermait plus de sélénium liquide; au delà de cette température, il renfermait un système gazeux homogène. Nous pourrions alors expliquer les résultats obtenus par M. Ditte, si nous étions assurés de l'exactitude de la proposition suivante :

Tandis que la chaleur de formation de l'acide sélénhydrique aux dépens de l'hydrogène et du SÉLÉNIUM LIQUIDE *est négative, l'acide sélénhydrique se forme, sous volume constant, aux dépens de l'hydrogène et des* VAPEURS DE SÉLÉNIUM *avec dégagement de chaleur.*

Il résulterait, en effet, de cette proposition, que, à partir du moment où le système ne renferme plus de sélénium liquide, la stabilité de l'acide sélénhydrique, au lieu de croître avec la température, diminue par un accroissement de température; de plus, de part et d'autre de la température correspondant à la disparition du sélénium liquide, une loi analytique différente relierait le rapport $\frac{p_3}{\Pi}$ à la température.

Or, nous verrons au Chapitre suivant que, sous volume constant, l'acide sélénhydrique dégage plus de chaleur s'il se forme aux dépens de l'hydrogène et des vapeurs de sélénium que s'il se forme aux dépens de l'hydrogène et du sélénium liquide; la proposition précédente n'est donc nullement invraisemblable.

Ainsi se trouverait expliqué le prétendu maximum de stabilité de l'acide sélénhydrique. L'acide tellurhydrique doit donner lieu à des remarques analogues. Bien qu'à 600° l'hydrogène se combine au tellure d'une manière très appréciable, l'acide tellurhydrique formé est entièrement décomposé à la température de l'étincelle.

Ajoutons, pour terminer, que la dissociation de l'acide sélénhydrique donne lieu à des phénomènes de volatilisation apparente du sélénium.

(¹) Je dois l'idée de cette explication à M. Joly, professeur-adjoint à la Faculté des Sciences de Paris.

§ III. — Phénomènes de double décomposition.

La méthode développée dans le présent Chapitre permet encore d'aborder l'étude de quelques phénomènes de double décomposition.

L'hydrogène réduit, à une haute température, l'oxyde magnétique de fer, et, inversement, la vapeur d'eau oxyde le fer. H. Sainte-Claire Deville [1] a étudié les lois de l'équilibre qui se produit dans ces conditions.

Désignons :

L'hydrogène par l'indice **1**;
Le sesquioxyde de fer par l'indice **2**;
La vapeur d'eau par l'indice **3**;
Le fer par l'indice **4**.

Soient m_1, m_2, m_3, m_4 les masses des quatre corps en présence. Sous la pression constante Π, à la température T, le potentiel thermodynamique du système sera

$$\Phi(m_1, m_2, m_3, m_4, \Pi, T).$$

Un raisonnement et des notations analogues à ceux qui ont servi à établir les égalités (3) donneront

$$(46)\quad \left\{\begin{aligned} \frac{\partial\Phi}{\partial m_1} &= \chi_1(T) + RT\sigma_1 \log p_1 + RT\sigma_1(1 - \log RT\sigma_1),\\ \frac{\partial\Phi}{\partial m_2} &= \Psi'_2(T),\\ \frac{\partial\Phi}{\partial m_3} &= \chi_3(T) + RT\sigma_3 \log p_3 + RT\sigma_3(1 - \log RT\sigma_3),\\ \frac{\partial\Phi}{\partial m_4} &= \Psi'_4(T). \end{aligned}\right.$$

Dans toute modification virtuelle du système, on a

$$\frac{dm_1}{n_1\varpi_1} = \frac{dm_2}{n_2\varpi_2} = -\frac{dm_3}{n_3\varpi_3} = -\frac{dm_4}{n_4\varpi_4},$$

---

[1] H. Sainte-Claire Deville, *Comptes rendus*, t. LXX, p. 1109 et 1201; 1870; t. LXXI, p. 30; 1871. — H. Debray, *Comptes rendus*, t. LXXXVIII, p. 1341; 1879.

avec

$$n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2 = n_3\varpi_3 + n_4\varpi_4.$$

La condition d'équilibre du système est alors

$$(47)\qquad n_1\varpi_1\frac{\partial\Phi}{\partial m_1} + n_2\varpi_2\frac{\partial\Phi}{\partial m_2} - n_3\varpi_3\frac{\partial\Phi}{\partial m_3} - n_4\varpi_4\frac{\partial\Phi}{\partial m_4} = 0,$$

ou bien, en vertu des égalités (46),

$$(48)\quad \left\{\begin{aligned} &\mathrm{RT}(n_1\varpi_1\sigma_1\log p_1 - n_3\varpi_3\sigma_3\log p_3)\\ &\quad + n_1\varpi_1\chi_1(\mathrm{T}) + n_2\varpi_2\Psi'_2(\mathrm{T}) - n_3\varpi_3\chi_3(\mathrm{T}) - n_4\varpi_4\Psi'_4(\mathrm{T})\\ &\qquad + \mathrm{RT}[n_1\varpi_1\sigma_1(1-\log\mathrm{RT}\sigma_1) - n_3\varpi_3\sigma_3(1-\log\mathrm{RT}\sigma_3)] = 0.\end{aligned}\right.$$

Soit V le volume du mélange gazeux; les égalités

$$p_1\mathrm{V} = \mathrm{RT}\sigma_1,$$
$$p_3\mathrm{V} = \mathrm{RT}\sigma_3$$

permettent de transformer cette égalité en

$$(49)\quad \left\{\begin{aligned} &\mathrm{RT}\left(n_1\varpi_1\sigma_1\log\frac{m_1}{\mathrm{V}} - n_3\varpi_3\sigma_3\log\frac{m_3}{\mathrm{V}}\right)\\ &\quad + n_1\varpi_1[\chi_1(\mathrm{T}) + \mathrm{RT}\sigma_1] - n_3\varpi_3[\chi_3(\mathrm{T}) + \mathrm{RT}\sigma_3]\\ &\qquad + n_2\varpi_2\Psi'_2(\mathrm{T}) - n_4\varpi_4\Psi'_4(\mathrm{T}) = 0.\end{aligned}\right.$$

L'égalité (48) conduit à cette conséquence :

Lorsque la température demeure constante, le rapport

$$\frac{p_1^{n_1\varpi_1\sigma_1}}{p_3^{n_3\varpi_3\sigma_3}}$$

garde une valeur constante.

Considérons, par exemple, le système étudié par H. Sainte-Claire Deville : un volume d'hydrogène, en réduisant l'oxyde de fer, produit un volume de vapeur d'eau égal au sien; on a donc

$$n_1\varpi_1\sigma_1 = n_3\varpi_3\sigma_3$$

et la loi précédente peut s'énoncer ainsi :

Dans l'état d'équilibre, la tension de l'hydrogène est à la tension de la vapeur d'eau dans un rapport qui dépend de la température seule.

Les expériences de H. Sainte-Claire Deville, bien que comportant peu de précision, sont grossièrement d'accord avec ce résultat.

Température.	Tension de la vapeur d'eau p_2.	$\frac{p_1}{p_2}$.	Tension de la vapeur d'eau p_2.	$\frac{p_1}{p_2}$.
°	mm		mm	
200	4,6	20,8	9,7	20,1
360	»	8,8	9,5	8,0
440	»	5,6	10,1	5,8
860	»	2,8	13,0	1,8
1040 (?)	»	2,0	12,7	1,3
1600 (?)	»	1,1	11,7	0,7

Les divergences qui se produisent aux températures élevées ne doivent pas surprendre : à ces températures, la vapeur d'eau est partiellement dissociée.

La formation d'une masse d'oxyde de fer dm_2 et d'une masse équivalente d'hydrogène, aux dépens de l'eau et du fer, effectuée sous volume constant, dégage une quantité de chaleur $L dm_2$. L est la *chaleur d'oxydation du fer par la vapeur d'eau sous volume constant.*

La même modification, effectuée sous pression constante, dégage une quantité de chaleur λdm_2. λ est *la chaleur d'oxydation du fer par la vapeur d'eau sous pression constante.*

Des démonstrations analogues à celles qui ont fourni les égalités (15) et (17) nous donneront

$$(50)\quad \left\{\begin{aligned} E n_2 \varpi_2 L = &- n_1 \varpi_1 \left[\chi_1(T) - T\frac{d\chi_1(T)}{dT}\right] - n_2 \varpi_2 \left[\Psi'_2(T) - T\frac{\partial \Psi'_2(T)}{\partial T}\right] \\ &+ n_3 \varpi_3 \left[\chi_3(T) - T\frac{d\chi_3(T)}{dT}\right] + n_4 \varpi_4 \left[\Psi'_4(T) - T\frac{\partial \Psi'_4(T)}{\partial T}\right]; \end{aligned}\right.$$

$$(51)\quad E n_2 \varpi_2 \lambda = E n_2 \varpi_2 L - RT(n_1 \varpi_1 \sigma_1 - n_3 \varpi_3 \sigma_3).$$

Dans le cas particulier que nous présente l'oxydation du fer par la vapeur d'eau, nous avons

$$n_1 \varpi_1 \sigma_1 = n_3 \varpi_3 \sigma_3,$$

et l'égalité (51) nous donne

$$\lambda = L.$$

L'oxydation du fer aux dépens de la vapeur d'eau dégage la même quantité de chaleur, qu'elle se produise sous pression constante ou sous volume constant.

L'égalité (48) donne

$$\frac{d}{dT}\log\left(\frac{p_1^{n_1\varpi_1\sigma_1}}{p_3^{n_3\varpi_3\sigma_3}}\right) = -\frac{E n_2 \varpi_2}{RT^2}\lambda.$$

Si la quantité λ *est négative, le rapport* $\frac{p_1^{n_1\varpi_1\sigma_1}}{p_3^{n_3\varpi_3\sigma_3}}$ *croît avec la température; l'inverse a lieu si la quantité* λ *est positive.*

L'oxydation du fer aux dépens de la vapeur d'eau dégage de la chaleur; la quantité λ est positive; d'ailleurs, dans ce cas,

$$n_1\varpi_1\sigma_1 = n_3\varpi_3\sigma_3.$$

Le rapport $\frac{p_1}{p_3}$ doit donc diminuer lorsque la température augmente.

Voici, en effet, les résultats obtenus par H. Sainte-Claire Deville :

Tension p_3 de la vapeur d'eau.	Température.	Tension p_1 de l'hydrogène.
mm	°	
4,6	200	95,9
»	265	64,2
»	360	40,4
»	440	25,8
»	860	12,8
»	1040 (?)	9,2
»	1600 (?)	5,1

Ce que nous venons de dire ne suppose rien sur les variations que la température fait éprouver aux chaleurs spécifiques des solides, des liquides ou des gaz. Supposons maintenant ces chaleurs spécifiques indépendantes de la température. Nous aurons

$$\begin{aligned}
\Psi'_2(T) &= -EC_2T\log T + \alpha_2 T + \beta_2,\\
\Psi'_4(T) &= -EC_4T\log T + \alpha_4 T + \beta_4,\\
\chi_1(T) &= -E\gamma_1 T\log T + \alpha_1 T + \beta_1,\\
\chi_3(T) &= -E\gamma_3 T\log T + \alpha_3 T + \beta_3.
\end{aligned}$$

Si nous posons

$$(52)\quad \left\{\begin{aligned}
M &= \frac{n_1\varpi_1\beta_1 + n_2\varpi_2\beta_2 - n_3\varpi_3\beta_3 - n_4\varpi_4\beta_4}{R},\\
N &= \frac{E}{R}\left[n_3\varpi_3\gamma_3 + n_4\varpi_4 C_4 - n_1\varpi_1\gamma_1 - n_2\varpi_2 C_2\right],\\
Z &= \frac{1}{R}\left[n_1\varpi_1(\alpha_1 + R\sigma_1) + n_2\varpi_2\alpha_2 - n_3\varpi_3(\alpha_3 + R\sigma_3) - n_4\varpi_4\alpha_4\right],
\end{aligned}\right.$$

nos formules (50), (51) et (48) deviendront

$$(50\ bis)\qquad n_2\varpi_2 L = \frac{R}{E}(NT - M),$$

$$(51\ bis)\qquad n_2\varpi_2\lambda = \frac{R}{E}[(N + n_3\varpi_3\sigma_3 - n_1\varpi_1\sigma_1)T - M],$$

$$(48\ bis)\qquad \left\{\begin{aligned} &\log\frac{p_1^{n_1\varpi_1\sigma_1}}{p_3^{n_3\varpi_3\sigma_3}} + \frac{M}{T} + (N + n_3\varpi_3\sigma_3 - n_1\varpi_1\sigma_1)T \\ &\qquad + Z + n_3\varpi_3\sigma_3\log R\sigma_3 - n_1\varpi_1\sigma_1\log R\sigma_1. \end{aligned}\right.$$

M. Hortsmann [1] a mis le premier la condition d'équilibre sous la forme (48 *bis*).

CHAPITRE VIII.

RELATIONS ENTRE DIVERSES CHALEURS DE FORMATION.

§ I. — Relations entre les chaleurs de formation d'un corps à l'état liquide et à l'état gazeux.

Imaginons que deux gaz G_1, G_2 puissent, par leur combinaison, donner naissance à un corps 3 susceptible de se présenter soit à l'état gazeux, soit sous une forme présentant un faible volume spécifique; pour fixer les idées, nous supposerons que cette dernière forme soit la forme liquide.

Le système renferme des masses m_1, m_2 des gaz G_1, G_2, une masse m_3 du corps 3 à l'état gazeux, une masse μ_3 du corps 3 à l'état liquide. Si nous négligeons le volume spécifique du liquide, devant les volumes spécifiques des corps à l'état gazeux, nous pourrons écrire l'énergie interne U du système sous la forme suivante

$$(1)\qquad \left\{\begin{aligned} EU = \quad & m_1\left[\chi_1(T) - T\frac{d\chi_1(T)}{dT}\right] + m_2\left[\chi_2(T) - T\frac{d\chi_2(T)}{dT}\right] \\ & + m_3\left[\chi_3(T) - T\frac{d\chi_3(T)}{dT}\right] + \mu_3\left[\Psi'_3(T) - T\frac{d\Psi'_3(T)}{dT}\right]. \end{aligned}\right.$$

---

[1] HORTSMANN, *Ueber ein Dissociations Problem* (*Annalen der Chemie und Pharmacie*, t. CLXXXVII, p. 48; 1877).

Supposons qu'une masse dm_3 du corps 3 *à l'état gazeux* prenne naissance dans le système. On aura

$$(2)\qquad \frac{dm_1}{n_1\varpi_1} = \frac{dm_2}{n_2\varpi_2} = -\frac{dm_3}{n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2}.$$

Si la transformation a lieu sous volume constant, elle dégagera une quantité de chaleur Ldm_3. L sera la *chaleur de formation du corps* 3 *sous volume constant et à l'état gazeux.*

Les égalités (1) et (2) nous donnent de suite

$$(3)\qquad \left\{\begin{aligned} E(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)L = \; & n_1\varpi_1\left[\chi_1(T) - T\frac{d\chi_1(T)}{dT}\right] \\ & + n_2\varpi_2\left[\chi_2(T) - T\frac{d\chi_2(T)}{dT}\right] \\ & - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\left[\chi_3(T) - T\frac{d\chi_3(T)}{dT}\right]. \end{aligned}\right.$$

Si la même transformation se produit sous la pression constante Π, elle dégage une quantité de chaleur λdm_3. λ est la *chaleur de formation du corps* 3 *sous pression constante et à l'état gazeux.* Si V est le volume du mélange gazeux, on aura

$$E\lambda = EL - \Pi\frac{dV}{dm_3}.$$

Or on démontre sans peine que l'on a

$$(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\Pi\frac{dV}{dm_3} = RT\left[(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\sigma_3 - n_1\varpi_1\sigma_1 - n_2\varpi_2\sigma_2\right];$$

on a donc

$$(4)\qquad \left\{\begin{aligned} E(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\lambda = \; & n_1\varpi_1\left[\chi_1(T) - T\frac{d\chi_1(T)}{dT} + RT\sigma_1\right] \\ & + n_2\varpi_2\left[\chi_2(T) - T\frac{d\chi_2(T)}{dT} + RT\sigma_2\right] \\ & - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\left[\chi_3(T) - T\frac{d\chi_3(T)}{dT} + RT\sigma_3\right]. \end{aligned}\right.$$

Supposons maintenant que la masse $d\mu_3$ du corps 3 prenne naissance *à l'état liquide*. Nous aurons

$$(5)\qquad \frac{dm_1}{n_1\varpi_1} = \frac{dm_2}{n_2\varpi_2} = -\frac{d\mu_3}{n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2}.$$

Si la transformation a lieu sous volume constant, elle dégagera une quantité de chaleur $L' d\mu_3$. L' sera la *chaleur de formation du corps* 3 *sous volume constant et à l'état liquide.* Les égalités (1) et (5) nous donneront sans peine

$$(6)\quad \left\{\begin{aligned} E(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)L' = \; & n_1\varpi_1\left[\chi_1(T) - T\frac{d\chi_1(T)}{dT}\right] \\ & + n_2\varpi_2\left[\chi_2(T) - T\frac{d\chi_2(T)}{dT}\right] \\ & - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\left[\Psi'_3(T) - T\frac{d\Psi'_3(T)}{dT}\right]. \end{aligned}\right.$$

Si la tranformation a lieu sous pression constante, elle dégagera une quantité de chaleur $\lambda' d\mu_3$. λ' sera la *chaleur de formation du corps* 3 *sous pression constante et à l'état liquide.* Un raisonnement analogue à celui qui a donné l'égalité (4) nous donnera

$$(7)\quad \left\{\begin{aligned} E(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\lambda' = \; & n_1\varpi_1\left[\chi_1(T) - T\frac{d\chi_1(T)}{dT} + RT\sigma_1\right] \\ & + n_2\varpi_2\left[\chi_2(T) - T\frac{d\chi_2(T)}{dT} + RT\sigma_2\right] \\ & - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\left[\Psi'_3(T) - T\frac{d\Psi'_3(T)}{dT}\right]. \end{aligned}\right.$$

La comparaison des égalités (3) et (6) donne

$$(8)\quad E(L' - L) = \left[\chi_3(T) - T\frac{d\chi_3(T)}{dT}\right] - \left[\Psi'_3(T) - T\frac{d\Psi'_3(T)}{dt}\right].$$

La comparaison des égalités (4) et (8) donne

$$(9)\quad \left\{\begin{aligned} E(\lambda' - \lambda) = \; & \left[\chi_3(T) - T\frac{d\chi_3(T)}{dT} + RT\sigma_3\right] \\ & - \left[\Psi'_3(T) - T\frac{d\Psi'_3(T)}{dT}\right]. \end{aligned}\right.$$

Soit $\mathcal{L}$ la chaleur de vaporisation du corps 3 à la température T; soit $\mathcal{P}$ sa tension de vapeur saturée à cette température; soit $v_3(\mathcal{P}, T)$ le volume spécifique de la vapeur du corps 3 sous la pression $\mathcal{P}$, à la température T. Nous aurons, comme on le voit

sans peine,

$$E\mathcal{L} = \left[\chi_3(T) - T\frac{d\chi_3(T)}{dT}\right] - \left[\Psi'_3(T) - T\frac{d\Psi'_3(T)}{dT}\right] + \mathcal{P}v_3(\mathcal{P}, T).$$

Mais, la vapeur du corps 3 étant assimilée à un gaz parfait, on a

$$\mathcal{P}v_3(\mathcal{P}, T) = RT\sigma_3.$$

On a donc

$$(10)\quad E\mathcal{L} = \left[\chi_3(T) - T\frac{d\chi_3(T)}{dT} + RT\sigma_3\right] - \left[\Psi'_3(T) - T\frac{d\Psi'_3(T)}{dT}\right].$$

La comparaison des égalités (9) et (10) donne

$$(11)\qquad \lambda' - \lambda = \mathcal{L}.$$

La comparaison des égalités (8) et (10) donne

$$(12)\qquad L' - L = \mathcal{L} - \frac{RT\sigma_3}{E}.$$

Cette dernière formule peut s'écrire autrement. La formule de Clapeyron et Clausius, où l'on néglige le volume spécifique du liquide, donne

$$\mathcal{L} = \frac{T}{E}v_3(\mathcal{P}, T)\frac{d\mathcal{P}}{dT},$$

ou bien

$$\mathcal{L} = \frac{R\sigma_3 T^2}{E}\frac{1}{\mathcal{P}}\frac{d\mathcal{P}}{dT}.$$

L'égalité (12) peut donc s'écrire

$$(13)\qquad L' - L = \frac{R\sigma_3 T^2}{E\mathcal{P}}\left(\frac{d\mathcal{P}}{dT} - \frac{\mathcal{P}}{T}\right).$$

L'égalité (11) nous donne la proposition suivante :

Sous pression constante, la chaleur de formation d'un corps à l'état liquide est plus grande que la chaleur de formation du même corps à l'état gazeux. La différence est égale à la chaleur de vaporisation du liquide.

Pour tous les liquides connus, $\frac{d\mathfrak{P}}{dT}$ est constamment supérieur à $\frac{\mathfrak{P}}{T}$.

L'égalité (13) conduit donc à la proposition suivante :

Sous volume constant, la chaleur de formation d'un corps à l'état liquide est plus grande que la chaleur de formation du même corps à l'état gazeux.

La comparaison des égalités (11) et (12) nous donne encore la proposition suivante :

La différence entre les deux chaleurs de formation sous pression constante est supérieure à la différence entre les deux chaleurs de formation sous volume constant.

Des raisonnements analogues aux précédents peuvent s'appliquer à un autre cas, qui est le suivant :

Un gaz composé G_3 est formé par la combinaison d'un gaz G_1 et d'un corps 2, qui peut se présenter soit à l'état de gaz, soit à l'état liquide.

Soient

L la chaleur de formation du gaz G_3 sous volume constant, lorsque le corps 2 est à l'état gazeux;

L' la chaleur de formation du gaz G_3 sous volume constant, lorsque le corps 2 est à l'état liquide;

λ la chaleur de formation du gaz G_3 sous pression constante, lorsque le corps 2 est à l'état gazeux;

λ' la chaleur de formation du gaz G_3 sous pression constante, lorsque le corps 2 est à l'état liquide;

$\mathfrak{L}$ la chaleur de vaporisation du corps 2 à la température T;

$\mathfrak{P}$ sa tension de vapeur saturée à la même température.

Nous trouvons les égalités

$$\lambda - \lambda' = \mathfrak{L}, \tag{11 bis}$$

$$L - L' = \frac{R\sigma_2 T^2}{E\mathfrak{P}}\left(\frac{d\mathfrak{P}}{dT} - \frac{\mathfrak{P}}{T}\right), \tag{13 bis}$$

$$L - L' = \mathfrak{L} - \frac{RT\sigma_2}{E}. \tag{12 bis}$$

L'égalité (11 *bis*) renferme l'énoncé suivant :

Un composé gazeux, en se formant sous pression constante, dégage plus de chaleur si ses deux composants sont gazeux que si l'un d'eux est à l'état liquide. La différence des deux chaleurs de formation est égale à la chaleur de formation de ce dernier corps.

L'égalité (13 *bis*) renferme l'énoncé suivant :

Un composé gazeux, en se formant sous volume constant, dégage plus de chaleur si ses deux composants sont à l'état gazeux que si l'un d'eux est à l'état liquide.

La comparaison des égalités (11 *bis*) et (13 *bis*) donne la proposition suivante :

La différence de formation sous volume constant est moindre que la différence des chaleurs de formation sous pression constante.

Au § II du Chapitre précédent, l'étude de la dissociation de l'acide sélénhydrique nous a conduits à invoquer la seconde de ces propositions.

§ II. — Sur la chaleur de formation d'un hydrate.

Lorsqu'un corps solide ou liquide se dissocie en un élément solide et un élément gazeux, il peut arriver que cet élément gazeux soit lui-même liquéfiable à la température de l'expérience. Par exemple, certains hydrates se dissocient, à de basses températures, en sel anhydre et vapeur d'eau, et, à ces températures, la vapeur d'eau peut être liquéfiée.

Ne peut-on tirer quelque conclusion intéressante de la comparaison de ces deux phénomènes : dissociation de l'hydrate, vaporisation de l'eau?

M. Hortsmann [1], M. Pfaundler [2], M. Frowein [3] l'ont

---

[1] Hortsmann, *Annalen der Chemie und Pharmacie*, t. CXXV, Supplément, p. 8.

[2] Pfaundler, *Berl. Monatsber.*, t. IV, p. 773.

[3] Frowein, *Zeitschrift für physikalische Chemie*, t. I, p. 5.

pensé. Ils ont admis que la chaleur dégagée à une température donnée, lorsqu'on combine directement l'eau liquide avec le sel anhydre dans les proportions voulues pour former l'hydrate, est égale à la différence entre la chaleur de vaporisation de l'eau pure et la chaleur de dissociation de l'hydrate à la même température. Partant de ce principe, ils ont établi une formule qu'ils ont cherché à vérifier par l'expérience.

Mais, comme nous le verrons plus loin, le principe même sur lequel repose la formule que M. Frowein a cherché à vérifier expérimentalement n'est pas exact. Nous allons donc reprendre la question directement, afin d'établir la formule qui doit être substituée à celle qu'il a employée.

Soient ϖ_1 le poids moléculaire du sel anhydre et ϖ_2 le poids moléculaire de l'eau. L'hydrate est supposé formé par n_1 molécules du sel anhydre et n_2 molécules d'eau.

Supposons qu'à la température T, sous la pression F de la vapeur saturée de l'eau pure à cette température, une masse d'eau infiniment petite se combine avec une masse équivalente de sel anhydre pour former une masse dm_3 d'hydrate. Nous aurons

$$\frac{dm_1}{n_1\varpi_1} = \frac{dm_2}{n_2\varpi_2} = -\frac{dm_3}{n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2}.$$

Soient $\Psi'_1(F, T)$, $\Psi'_2(F, T)$, $\Psi'_3(F, T)$ les potentiels thermodynamiques sous la pression constante F, à la température T, de l'unité de masse de l'eau liquide, du sel anhydre et du sel hydraté.

Durant la combinaison en question, le potentiel thermodynamique sous pression constante augmente de $d\Phi$ et l'on a

$$(14)\quad \left\{ \begin{aligned} (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\,d\Phi = [&(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\,\Psi'_3(F, T) \\ &- n_1\varpi_1\Psi'_1(F, T) - n_2\varpi_2\Psi'_2(F, T)]\,dm_3. \end{aligned} \right.$$

La quantité de chaleur dégagée dQ est donnée par la formule

$$(15)\qquad E\,dQ = -d\left(\Phi - T\frac{\partial\Phi}{\partial T}\right).$$

Posons

$$dQ = L\,dm_3;$$

L sera la *chaleur de formation de l'hydrate, à la température* T, *aux dépens du sel anhydre et de l'eau liquide.*

Les égalités (14) et (15) donnent

$$(16)\quad \left\{\begin{aligned} E(n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)L = \; & n_1\varpi_1\left[\Psi'_1(F,T)-T\frac{\partial}{\partial T}\Psi'_1(F,T)\right] \\ & +n_2\varpi_2\left[\Psi'_2(F,T)-T\frac{\partial}{\partial T}\Psi'_2(F,T)\right] \\ & -(n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)\left[\Psi'_3(F,T)-T\frac{\partial}{\partial T}\Psi'_3(F,T)\right]. \end{aligned}\right.$$

Soit $\psi'_2(p,T)$ le potentiel thermodynamique de l'unité de masse de la vapeur d'eau sous la pression constante p, à la température T. La tension F de la vapeur d'eau à la température T est donnée par l'égalité

$$(17)\qquad \Psi'_2(F,T)=\psi'_2(F,T),$$

tandis que la tension de dissociation de l'hydrate à la même température est donnée par l'égalité

$$(18)\quad (n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)\Psi'_3(f,T)-n_1\varpi_1\Psi'_1(f,T)-n_2\varpi_2\psi'_2(f,T)=0.$$

En vertu des égalités (17) et (18), l'égalité (16) peut s'écrire

$$(19)\quad \left\{\begin{aligned} & E(n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)L \\ & = n_2\varpi_2\left\{\psi'_2(F,T)-\psi'_2(f,T)-T\frac{\partial}{\partial T}[\psi'_2(F,T)-\psi'_2(f,T)]\right\} \\ & \quad +n_1\varpi_1\left\{\Psi'_1(F,T)-\Psi'_1(f,T)-T\frac{\partial}{\partial T}[\Psi'_1(F,T)-\Psi'_1(f,T)]\right\} \\ & \quad -(n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)\left\{\Psi'_3(F,T)-\Psi'_3(f,T)-T\frac{\partial}{\partial T}[\Psi'_3(F,T)-\Psi'_3(f,T)]\right\}. \end{aligned}\right.$$

Soient $u_1(p,T)$, $u_3(p,T)$, $V(p,T)$ les volumes spécifiques du sel anhydre, de l'hydrate et de la vapeur d'eau sous la pression p, à la température T. Les relations bien connues

$$u_1(p,T)=\frac{\partial}{\partial p}\Psi'_1(p,T),$$

$$u_3(p,T)=\frac{\partial}{\partial p}\Psi'_3(p,T),$$

$$V(p,T)=\frac{\partial}{\partial p}\psi'_2(p,T)$$

permettent d'écrire l'égalité (19) sous la forme

$$(20)\quad \left\{\begin{aligned} &E(n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)L \\ &= \int_f^F [n_2\varpi_2 V(p,T)+n_1\varpi_1 u_1(p,T)-(n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)u_3(p,T)]\,dp \\ &\quad - T\int_f^F \frac{\partial}{\partial T}[n_2\varpi_2 V(p,T)+n_1\varpi_1 u_1(p,T)-(n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)u_3(p,T)]\,dp. \end{aligned}\right.$$

Telle est l'équation complète qui lie la chaleur de formation de l'hydrate à sa tension de dissociation et à la tension de vapeur saturée de l'eau pure.

Cette équation (20) peut être mise sous une autre forme :

F et f sont des fonctions de T. On a donc

$$\begin{aligned} &\frac{d}{dT}\int_f^F [n_2\varpi_2 V(p,T)+n_1\varpi_1 u_1(p,T)-(n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)u_3(p,T)]\,dp \\ &= \int_f^F \frac{\partial}{\partial T}[n_2\varpi_2 V(p,T)+n_1\varpi_1 u_1(p,T)-(n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)u_3(p,T)]\,dp \\ &\quad + [n_2\varpi_2 V(F,T)+n_1\varpi_1 u_1(F,T)-(n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)u_3(F,T)]\frac{dF}{dT} \\ &\quad - [n_2\varpi_2 V(f,T)+n_1\varpi_1 u_1(f,T)-(n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)u_3(f,T)]\frac{df}{dT}. \end{aligned}$$

Moyennant cette égalité, l'égalité (20) devient

$$(21)\quad \left\{\begin{aligned} &E(n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)L \\ &= \int_f^F [n_2\varpi_2 V(p,T)+n_1\varpi_1 u_1(p,T)-(n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)u_3(p,T)]\,dp \\ &\quad - T\frac{d}{dT}\int_f^F [n_2\varpi_2 V(p,T)+n_1\varpi_1 u_1(p,T)-(n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)u_3(p,T)]\,dp \\ &\quad + T[n_2\varpi_2 V(F,T)+n_1\varpi_1 u_1(F,T)-(n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)u_3(F,T)]\frac{dF}{dT} \\ &\quad - T[n_2\varpi_2 V(f,T)+n_1\varpi_1 u_1(f,T)-(n_1\varpi_1+n_2\varpi_2)u_3(f,T)]\frac{df}{dT}. \end{aligned}\right.$$

Cette égalité (21) est entièrement rigoureuse; elle ne suppose aucune approximation.

Une première approximation va nous permettre de la simplifier.

Négligeons les volumes spécifiques u_1, u_3 devant le volume

spécifique V; l'égalité (21) deviendra

$$(22)\quad \left\{\begin{aligned} &E(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)L \\ &\quad = n_2\varpi_2\left[\int_f^F V(p,T)\,dp - T\frac{d}{dT}\int_f^F V(p,T)\,dp \right. \\ &\qquad\qquad \left. + TV(F,T)\frac{dF}{dT} - TV(f,T)\frac{df}{dT}\right]. \end{aligned}\right.$$

Le second membre de cette formule pourra se calculer si l'on connaît, pour chaque température T :

La tension de vapeur saturée;

La tension de dissociation de l'hydrate;

La loi de compressibilité de la vapeur d'eau.

L'égalité (22) prend une forme beaucoup plus simple si, par une nouvelle approximation plus grossière que la précédente, on applique à la vapeur d'eau les lois de Mariotte et de Gay-Lussac. On a alors

$$pV(p,T) = R\sigma_2 T,$$

ce qui donne

$$(23)\qquad \int_f^F V(p,T)\,dp = R\sigma_2 T\int_f^F \frac{dp}{p} = R\sigma_2 T\log\frac{F}{f},$$

et l'égalité (22) devient

$$(24)\qquad E(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)L = Rn_2\varpi_2 T\sigma_2\log\frac{F}{f}.$$

Telle est la formule très simple qui permet de *calculer, à chaque température, la chaleur de formation de l'hydrate aux dépens du sel anhydre et de l'eau liquide, lorsqu'on connaît, à cette température, la tension de la vapeur d'eau et la tension de dissociation de l'hydrate.*

Cette formule met tout d'abord en évidence la loi suivante :

Si l'union du sel anhydre avec l'eau liquide dégage de la chaleur, la tension de dissociation de l'hydrate est inférieure à la tension de la vapeur d'eau pure; l'inverse a lieu si l'union du sel anhydre avec l'eau liquide absorbe de la chaleur.

La formule (24) peut être soumise au contrôle de l'expérience.

Pour chaque valeur de T, F est connu par les déterminations de Regnault; pour certains hydrates, M. Frowein a déterminé f, ce qui permet de calculer le second membre de la formule (24); M. Thomsen a déterminé L, ce qui permet de calculer le premier membre.

Voici les résultats obtenus pour le sulfate de cuivre et le chlorure de baryum :

Température.	L [d'après l'égalité (24)].	L (d'après M. Thomsen).
	Sulfate de cuivre.	
13,95	3444	
20,46	3369	3410
26,30	3438	
30,20	3442	
34,75	3388	
39,55	3437	
39,70	3439	
	Chlorure de baryum.	
18,25	3637	
25,68	3648	3830
25,90	3648	
28,85	3624	
31,65	3629	
36,45	3615	
36,85	3627	
37,30	3627	
43,45	3634	

La concordance est parfaite pour le sulfate de cuivre et satisfaisante pour le chlorure de baryum.

L'accord ne subsiste plus pour le sulfate de magnésie et, surtout, pour le chlorure de strontium; mais il est possible que les recherches de M. Frowein et celles de M. Thomsen n'aient pas porté sur les mêmes hydrates.

Soient :

$\mathcal{L}$ la chaleur de vaporisation de l'eau à la température T;
l la chaleur de dissociation de l'hydrate à la même température;
$u_2(p, T)$ le volume spécifique de l'eau liquide sous la pression p à la température T.

Le théorème de Clapeyron et de Clausius donne

$$(25)\qquad E\mathcal{L} = T[V(F,T) - u_2(F,T)]\frac{dF}{dT},$$

$$(26)\quad \begin{cases} E(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\,l \\ \quad = T[n_2\varpi_2 V(f,T) + n_1\varpi_1 u_1(f,T) - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\,u_3(f,T)]\dfrac{df}{dT}. \end{cases}$$

M. Hortsmann, M. Pfaundler, M. Frowein ont admis que la chaleur de formation de l'hydrate aux dépens du sel anhydre et de l'eau liquide avait une valeur L′ déterminée par l'égalité

$$E(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\,L' = E(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\,l - E n_2\varpi_2\mathcal{L}.$$

En vertu des égalités (25) et (26), cette dernière égalité devient

$$(27)\quad \begin{cases} E(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\,L' = -T n_2\varpi_2[V(F,T) - u_2(F,T)]\dfrac{dF}{dT} \\ \quad + T[n_2\varpi_2 V(f,T) + n_1\varpi_1 u_1(f,T) - (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\,u_3(f,T)]\dfrac{df}{dT}. \end{cases}$$

On voit que cette formule diffère extrêmement de l'égalité (21), qui donne la valeur exacte de la chaleur de formation de l'hydrate.

On peut simplifier la formule (27) par une première approximation, qui consiste à négliger les volumes spécifiques de l'eau liquide et des sels devant le volume spécifique de la vapeur. Elle devient alors

$$(28)\qquad E(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)L' = -n_2\varpi_2 T\left[V(F,T)\frac{dF}{dT} - V(f,T)\frac{df}{dT}\right],$$

formule très différente de la formule (22).

Si, par une nouvelle approximation, nous appliquons à la vapeur d'eau les lois de Mariotte et de Gay-Lussac, qui donnent

$$V(f,T) = \frac{R\sigma_2 T}{f},$$

$$V(F,T) = \frac{R\sigma_2 T}{F},$$

la formule (28) deviendra

$$(29)\qquad E(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)L' = -n_2\varpi_2\tau_2 RT^2 \frac{d}{dT}\log\frac{F}{f}.$$

C'est la formule proposée par M. Frowein.

Une curieuse particularité se présente pour la plupart des sels étudiés par M. Frowein. La chaleur de formation L, calculée par la formule (24), diffère très peu de la quantité L', déterminée par la formule (28), comme le montrent les Tableaux suivants :

Sulfate de cuivre $CuSO^4 + 5H^2O$.

Entre les températures $+13^\circ,95$ et $+39^\circ,70$,

L oscille entre 3369 et 3444;
L' oscille entre 3140 et 3580.

Chlorure de baryum $BaCl^2 + 2H^2O$.

Entre les températures $+18^\circ,25$ et $+43^\circ,45$,

L oscille entre 3615 et 3648;
L' oscille entre 3630 et 4020.

A quelle condition les deux formules (24) et (28) donneront-elles des valeurs égales pour L et L' ?

L'égalité $L = L'$ peut s'écrire

$$\log\frac{F}{f} + T\frac{d}{dT}\log\frac{F}{f} = 0,$$

ou bien, en posant

$$x = \log\frac{F}{f},$$

$$\frac{\frac{dx}{dT}}{x} = -\frac{1}{T}.$$

Cette équation s'intègre immédiatement et donne

$$\log x = \log\frac{C}{T}, \qquad x = \frac{C}{T}.$$

C étant une constante. En remplaçant x par sa valeur, on trouve

$$(30)\qquad \log\frac{F}{f} = \frac{C}{T}.$$

Tirons quelques conclusions de cette égalité (30).

Reportée dans l'égalité (24), elle donne

$$(31) \qquad E(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)L = Rn_2\varpi_2\sigma_2 C.$$

La chaleur de formation de l'hydrate est une constante.

Ainsi, *pour que la formule de M. Frowein fournisse une valeur exacte de la chaleur de formation de l'hydrate, il faut et il suffit que la chaleur de formation de l'hydrate soit indépendante de la température.*

L'inspection des valeurs de L pour le sulfate de cuivre et le chlorure de baryum montre que, pour ces sels, il en est bien ainsi.

Cette proposition peut être remplacée par une autre.

Soient C_1, C_2, C_3 les chaleurs spécifiques du sel anhydre, de l'eau liquide et du sel hydraté. Nous aurons

$$E(n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)\frac{dL}{dT} = (n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2)C_3 - n_1\varpi_1 C_1 - n_2\varpi_2 C_2.$$

L'égalité (31) équivaut donc à l'égalité

$$C_3 = \frac{n_1\varpi_1 C_1 + n_2\varpi_2 C_2}{n_1\varpi_1 + n_2\varpi_2}.$$

Pour que la formule de M. Frowein représente exactement la chaleur de formation de l'hydrate, il faut et il suffit que la chaleur spécifique de l'hydrate s'obtienne en appliquant la règle de Wœstyne aux chaleurs spécifiques de l'eau et du sel anhydre.

D'après ce que nous avons vu au Chapitre VI, la tension F de la vapeur d'eau pure sera donnée, en fonction de la température, par la formule de Dupré [Chapitre VI, égalité (10)]

$$\log F = \frac{M}{T} + N\log T + Z,$$

M, N, Z étant trois constantes. La tension f de dissociation de l'hydrate sera donnée par une formule analogue

$$\log f = \frac{m}{T} + n\log T + z,$$

m, n, z étant trois autres constantes. L'égalité (30) montre que, *pour que la formule de M. Frowein représente la chaleur de formation de l'hydrate, il faut et il suffit que l'on ait*

$$M = m, \qquad N = n.$$

Cette discussion de la formule de M. Frowein nous semble particulièrement propre à mettre en lumière une conclusion qui, d'ailleurs, se dégage de tout ce Mémoire.

Les chimistes regardent souvent la chaleur de formation d'un corps aux dépens de ses éléments comme *une constante* qui ne dépend pas des conditions dans lesquelles le corps a pris naissance. Tout au plus daignent-ils mentionner si le composé formé, si les éléments employés sont à l'état solide, à l'état liquide ou à l'état gazeux.

Déjà, en 1853, G. Kirchhoff avait signalé l'erreur grave sur laquelle repose cette manière de procéder; il avait montré que la chaleur dégagée dans la formation d'un composé dépend de la température à laquelle ce composé prend naissance.

Ce que nous avons dit dans le présent Mémoire montre en outre combien il est important, lorsque des corps gazeux interviennent dans une réaction, de ne pas déterminer la chaleur dégagée dans cette réaction sans préciser les conditions de *pression* dans lesquelles elle se produit.

En particulier, il est indispensable, dans la plupart des cas, de distinguer la chaleur de formation sous pression constante et la chaleur de formation sous volume constant.

NOTE

RELATIVE AU CHAPITRE VI.

M. Ed. Riecke [1] a montré que la formule d'Athanase Dupré [Chapitre VI, égalité (10), p. 142] représentait exactement les tensions de vapeur du phosphore rouge solide et les tensions de vapeur du phosphore blanc liquide, déterminées par les expériences de MM. Troost et Hautefeuille. Les constantes ont les valeurs suivantes :

Phosphore rouge :

$$M = -832,$$
$$N = 16,28,$$
$$Z = -45,01.$$

Phosphore blanc liquide :

$$M = -1530,$$
$$N = 2,064,$$
$$Z = -2,450.$$

[1] Ed. Riecke, *Nachträgliche Bemerkung zu dem Aufsatze über spezielle Fälle von Gleichgewichtserscheinungen eines aus mehreren Phasen zusammengesetzen Systemes* (*Zeitschrift für physikalische Chemie*, t. VII, p. 115; 1891).

[illegible]RES.

	Pages.
[illegible]	1
[illegible]	6
[illegible]	6
[illegible]	8
[illegible] mation des tempéra- [illegible]	11
[illegible] ius	17
[illegible] us gazeuses	21
[illegible]	25
[illegible]	38
[illegible]	39
[illegible]	39
[illegible]	51
[illegible] MOGÈNES GAZEUX	58
[illegible]	58
[illegible]	60
[illegible]	64
[illegible] libre	66
[illegible] l'acide iodhydrique	69
[illegible]	72
[illegible]	72
[illegible]	74
[illegible] r de formation	78
[illegible] re	80
[illegible] libre	83
[illegible] s sont en proportion [illegible]	86

Pages.

§ III. — Application des lois précédentes à l'éclaircissement de quelques faits d'expérience 88

1. Généralités 88
2. Composés directs; composes indirects 90
3. Vérifications expérimentales 92

CHAPITRE IV. — DENSITÉ D'UNE COMBINAISON GAZEUSE DISSOCIABLE 96

CHAPITRE V. — CAPACITÉ CALORIFIQUE D'UNE COMBINAISON GAZEUSE DISSOCIABLE 116

§ I. — Capacité calorifique sous volume constant 116

1. Le gaz composé est formé sans condensation 117
2. Le gaz composé est formé avec condensation 121

§ II. — Capacité calorifique sous pression constante 126

1. La quantité M est positive 128
2. La quantité M est négative 129

§ III. — La chaleur spécifique sous volume constant des gaz parfaits dépend-elle de la température? 131

CHAPITRE VI. — LA VAPORISATION 138

§ I. — Généralités 138

§ II. — Tension de vapeur saturée. Tension de dissociation. Formule d'Athanase Dupré 141

§ III. — Loi du mélange des gaz et des vapeurs 147

§ IV. — Retour à la définition d'un mélange de gaz parfaits 149

CHAPITRE VII. — DISSOCIATION AU SEIN DES SYSTÈMES HÉTÉROGÈNES RENFERMANT UN MÉLANGE DE GAZ PARFAITS 152

§ I. — Dissociation du carbamate d'ammoniaque et des composés analogues 152

1. Loi de l'équilibre à température constante 157
2. Chaleur de formation 166
3. Relation entre la dissociation et la température 169
4. Formules simplifiées 172

§ II. — Dissociation de l'acide sélénhydrique et des composés analogues. 174

1. Équilibre à température constante 175
2. Chaleur de formation 177
3. Relation entre la dissociation et la température 178
4. Influence de la volatilité du composant solide ou liquide 178
5. Formules simplifiées 180
6. Variations des chaleurs de formation 182
7. Dissociation sous pression constante 183
8. Dissociation sous volume constant 184
9. Vérifications expérimentales 184

Pages.

§ III. — Phénomènes de double décomposition..... 192

CHAPITRE VIII. — RELATIONS ENTRE DIVERSES CHALEURS DE FORMATION..... 196

§ I. — Relations entre les chaleurs de formation d'un corps à l'état liquide et à l'état gazeux..... 196

§ II. — Sur la chaleur de formation d'un hydrate..... 201

NOTE RELATIVE AU CHAPITRE VI..... 211

TABLE DES MATIÈRES..... 213

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

18261 Paris. — Imprimerie GAUTHIER-VILLARS ET FILS, quai des Grands-Augustins, 55.

MAR 26

FACULTÉS DE LILLE

ARUS

ion des fonctions V XIX, 1, 24

Prix. . . 1 fr. 25

Diamagnétiques.

Prix. . . 8 fr. 50

du chanoine Benoit — Extrait

Bibliothèque de Cambrai

en phototypie sur papier de

Prix. . . 3 fr. 50

Beltles (Analyse et falsification

Prix. . . 4 fr.

inuité de l'état liquide et de

Prix. . . 2 fr.

es sur le Lépidodendron Hoch

blanches). Prix. . . 10 fr.

le régime dotal

Prix. . . 3 fr.

tion dans les systèmes qui

gaz parfaits.

Prix. . . 8 fr.

tion :

s organes génitaux urinaires

LILLE (1re et 2e années)

9

Loc 1636.10

LIBRARY COLLEGE HARVARD

UNIVERSITE DE FRANCE

TRAVAUX & MÉMOIRES

DES

FACULTÉS DE LILLE

TOME II. — MÉMOIRE N° 9.

Paul HALLEZ. — MORPHOGÉNIE GÉNÉRALE ET AFFINITÉS DES TURBELLARIÉS

LILLE

AU SIÈGE DES FACULTÉS, PLACE PHILIPPE-LEBON

1892

nidherbe, 11 et 13.

55, quai des Gds-Augustins

rte, 82.

ÉNÉRAL DES LOIS ET DES

Forcel, éditeurs, 22, rue

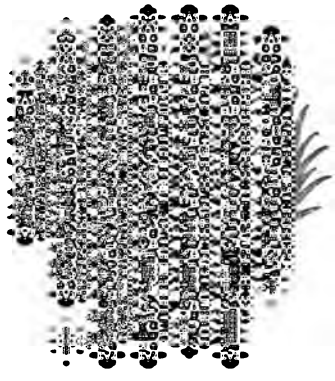
— [illegible] ANCE —

[illegible] MOIRES

[illegible] LILLE

[illegible] 9.

[illegible] NÉRALE ET AFFINITÉS



[illegible] PHILIPPE-LEBON

[illegible]

122/2.70
Soc 16[illegible]

HARVARD COLLEGE
20
LIBRARY.

The University

Le Conseil Général des Facultés de Lille a ordonné l'impression de ce mémoire, le 1er Juin 1892.

L'impression a été achevée, chez Le Bigot Frères, a Lille, *le 30 Juillet 1892.*

[illegible] GÉNÉRALE

[illegible] ELLARIÉS

(*[illegible] de ces animaux*)

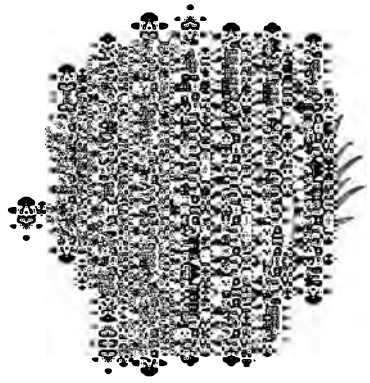
PAR

[illegible]

[illegible] de Lille.

[illegible] ULTÉS DE LILLE

[illegible] N° 9.



LILLE

[illegible] PHILIPPE-LEBON

1[illegible]

MORPHOGÉNIE GÉNÉRALE & AFFINITÉS DES TURBELLARIÉS

(Introduction à une embryologie comparée de ces animaux)

PAR PAUL HALLEZ

Professeur à la Faculté des Sciences de Lille.

On divise les Turbellariés en deux ordres : *Rhabdocœlida* et *Dendrocœlida*. Le premier ordre comprend trois tribus : *Acœla*, *Rhabdocœla* et *Alloiocœla*. Le second ordre se subdivise en deux sous-ordres : *Triclada* et *Polyclada*.

GRAFF (1) a publié un travail d'ensemble sur les *Rhabdocœlida;* LANG (2) a fait de même pour les *Polyclada*.

Dans un mémoire en cours de publication (3), j'essaye de faire, autant que le permettent les ressources insuffisantes d'une bibliothèque de province, la révision des *Triclada* que je divise en trois tribus : *Maricola*, *Paludicola*, *Terricola*.

Ayant suivi l'embryogénie de plusieurs espèces appartenant aux trois tribus des Triclades et aux diverses tribus des Rhabdocœlides, à l'exception des Acœles, j'ai pu acquérir des notions assez précises sur la morphogénie générale de ces animaux et sur leurs affinités.

(1) L. VON GRAFF. *Monographie der Turbellarien. I. Rhabdocœlida.*— Leipzig, 1882.

(2) LANG. *Die Polycladen.* — (Fauna und Flora des Golfes von Neapel). 1884.

(3) P. HALLEZ. *Catalogue des Turbellariés (Rhabdocœlides, Triclades et Polyclades) du Nord de la France et de la côte Boulonnaise.* (Revue biologique du Nord de la France).

Je me propose, dans ce mémoire, d'établir les affinités des Turbellariés et plus spécialement des Triclades, en me basant sur mes recherches embryologiques et sur l'anatomie comparée, puis d'énoncer les règles de la morphogénie de ces animaux.

I. — Affinités des Turbellariés.

Il est d'abord un point que je dois mettre en évidence, c'est que la division des Dendrocœlides doit disparaître, car elle constitue un groupe artificiel.

Le seul caractère commun à tous les Dendrocœlides c'est l'existence d'un appareil intestinal à branches plus ou moins ramifiées. Il n'y en a point d'autre. Or, ainsi que Lang l'a montré, le type de l'appareil digestif, chez les Triclades et les Polyclades, est très différent. Dans les premiers, l'intestin est toujours formé de trois branches principales : une antérieure et deux récurrentes ou postérieures. Le pharynx se trouve au point de jonction de ces trois branches qui *peuvent* porter des rameaux plus ou moins dichotomes. Toute autre est la disposition de l'intestin chez les Polyclades où nous voyons le pharynx s'ouvrir dans une poche unique dans laquelle débouchent radiairement les rameaux dendritiques. Quant aux autres organes, on sait qu'ils ne présentent que de rares analogies dans l'un et l'autre groupe.

Mais ce sont surtout les phénomènes embryologiques qui établissent d'une manière évidente la différence essentielle et précise qui existe entre les Triclades et les Polyclades.

Ainsi que je l'ai établi ailleurs (1) les Triclades d'eau douce *(Paludicola)* sont dépourvus de mésoderme. Je suis en mesure

(1) P. Hallez, *Embryogénie des Dendrocœles d'eau douce*, Lille, 1887, page 94.

de dire aujourd'hui qu'il en est de même chez les Triclades marins *(Maricola)*, les Triclades terrestres *(Terricola)* et les Rhabdocœlides, à l'exception des Acœles, les seuls Turbellariés dont je n'ai pas encore pu étudier l'embryologie. Ainsi, les considérations qui vont suivre présentent un caractère de grande généralité. Le reticulum conjonctif (mésenchyme) de ces animaux est une dépendance de l'ectoderme. C'est lui qui engendre le système nerveux et les organes des sens, organes qui, dans toute la série animale sans exception, sont des dérivés de l'ectoderme. C'est lui aussi qui contient les cellules-mères des rhabdites, productions que nous voyons naître, chez les Polyclades, dans des cellules de l'épiderme.

Les Polyclades, au contraire, possèdent un mésoderme. Leur reticulum conjonctif (mésenchyme) a une signification mésodermique. Aussi voyons-nous, chez ces animaux, le système nerveux et les organes des sens se différencier aux dépens de la couche ectodermique qui engendre également les rhabdites.

Le mésenchyme des Triclades, des Alloiocœles et des Rhabdocœles a donc une toute autre signification embryologique que celui des Polyclades. Ceux-ci sont des métazoaires triploblastiques, les autres sont des métazoaires diploblastiques.

Ces faits établissent, avec une grande netteté, une différence capitale entre les groupes Triclades et Polyclades.

J'ai écrit dans un autre mémoire (1) : « Il n'est pas impossible que les Polyclades et les Triclades, qui présentent d'importantes différences et dans leur organisation et dans l'histoire de leur développement, aient aussi des attaches avec des divisions différentes des Cœlentérés. » Je suis assez porté à admettre des affinités entre les Polyclades et les Cténophores ou les Acalèphes, comme le fait LANG, et je ne suis pas éloigné

(1) *Embryog. des Dendr. d'eau douce*, p. 99.

de considérer les Triclades et les Rhabdocœlides comme descendant de larves ciliées d'Anthozoaires qui, au lieu de se fixer, auraient continué à nager ou se seraient adaptées à la reptation. Dans cette conception, le mésoderme massif des Polyclades ne peut être homologué qu'aux entérocœles (vaisseaux stomacaux au paragastriques) des Cténophores ou des Méduses.

Quoiqu'il en soit, l'éloignement des Polyclades et des Triclades s'impose, et dès lors l'ordre des Dendrocœlides n'a plus sa raison d'être.

D'un autre côté, en nous plaçant toujours au point de vue embryogénique, nous constatons que les Triclades et les Rhabdocœlides ont entre eux de grandes affinités. Les uns et les autres sont en effet dépourvus de mésoderme et possèdent un mésenchyme de signification ectodermique. En outre, au point de vue anatomique, on peut caractériser ces deux groupes par la présence de glandes vitellines (vitellogènes), qui font défaut aux Polyclades.

C'est en me basant sur les considérations précédentes que j'ai proposé le classement des Turbellariés en trois ordres, est la façon suivante :

Turbellaria	diploblastica.....	Rhaddocœlida.
		Triclada.
	triploblastica....	Polyclada.

Dans ma pensée, ces trois ordres ne sont pas d'égale valeur, car, ainsi que nous allons le voir, l'organisme Triclade peut être dérivé de l'organisme Rhabdocœlide, tandis que les Polyclades ont une organisation qui diffère profondément de celle des deux autres ordres et ont un point de départ très probablement distinct.

*
* *

En 1879 (1), j'ai proposé de rattacher aux Triclades les

(1) P. Hallez. *Contributions à l'hist. nat. des Turbellariés.* Lille, 1879.

genres *Monocelis* Œrst., *Enterostoma* Clap., *Vorticeros* O. Schm., et *Turbella* Graff, en les réunissant dans une même famille sous le nom de *Monocéliens*. Ce dernier nom n'a pas été adopté par Graff, dans sa *Monographie der Turbellarien*. Cet auteur a créé, pour ces genres et pour quelques autres que je n'avais pas eu occasion d'étudier, la tribu des *Alloiocœla* qu'il laissa, avec raison, parmi les *Rhabdocœlida*. Je tiens à montrer combien cette tribu des Alloiocœles est remarquable au point de vue de l'anatomie comparée.

Du Plessis (1) a trouvé, à Nice, un Turbellarié qu'il a désigné sous le nom d'*Otoplana intermedia*. C'est un animal de 4 millim. de long, dépourvu d'yeux, mais possédant un otocyste et deux fossettes ciliées. Son corps est garni sur ses bords de longues soies tactiles symétriques et est pourvu de cellules agglutinantes. Le cerveau est discoïde. Les organes reproducteurs sont composés de deux ovaires, un de chaque côté du pharynx, de deux glandes vitellines, de testicules folliculaires situés dans la moitié antérieure du corps, d'un pénis avec revêtement chitineux interne. Ainsi que du Plessis le fait remarquer avec juste raison, tous ces caractères sont ceux des *Monotus*. Mais *Otoplana* ne possède qu'un seul orifice sexuel ; « il est donc monogonopore », dit du Plessis. En outre, l'appareil digestif est celui d'un Triclade : le pharynx, par sa forme et sa structure, est identique à celui d'un Triclade, et l'intestin est composé de trois branches, dont une antérieure et deux postérieures, avec un grand nombre de culs-de-sac courts et irrégulièrement bifurqués. *Otoplana intermedia* est donc monogonopore et dendrocœlien. Aussi du Plessis, tout en donnant à sa Planaire le nom spécifique d'*intermedia* « pour exprimer justement la valeur transformiste de cette nouvelle espèce », la range avec les Triclades marins, et il a raison.

(1) Du Plessis. *Note sur l'Otoplana intermedia* (Zool. Anzeiger. T. XII. 1889, p. 339.)

Examinons la valeur de quelques-uns des caractères d'*Otoplana*.

A. — Du Plessis dit que la présence des soies tactiles chez *Otoplana* est un caractère que ne possède aucune autre Planaire. C'est une erreur. Des soies raides symétriquement distribuées sur les bords du corps et dans la région céphalique se rencontrent chez de jeunes Triclades. J'ai donné des figures (1) de jeunes *Dendrocœlum lacteum* et *punctatum* qui sont très démonstratives. Ces soies existent également dans l'exemplaire tératologique représenté fig. 2. Il est même intéressant de constater que ces soies raides ne se rencontrent plus à l'âge adulte. Comme les conditions de vie sont les mêmes pour les jeunes et les adultes, on peut donc être tenté de considérer les soies des jeunes Planaires comme un caractère atavique.

B. — Le caractère tiré du nombre des orifices sexuels n'a qu'une valeur toute secondaire. Nous voyons, par exemple, dans la tribu des Acœles, la familles des Proporides avec une seule ouverture génitale, et la famille des Aphanostomides avec deux. Dans la tribu des Alloiocœles, les Plagiostomides n'ont qu'un orifice sexuel, tandis que les Monotides en ont deux. Dans la tribu des Rhabdocœles, le nombre varie également d'une famille à l'autre et même parfois dans une même famille (les Mésostomides et les Proboscides). Les Polyclades présentent des faits analogues. Tandis que, dans la règle, ils possèdent des ouvertures mâle et femelle distinctes, les genres *Stylochoplana* et *Discocelis* n'ont qu'un seul orifice sexuel, sans qu'on puisse cependant les éloigner des autres Polyclades.

Nous voyons donc que le nombre des ouvertures génitales n'a qu'une faible valeur pour la systématique.

E. — Le caractère tiré de la disposition de l'appareil gas-

(1) *Contrib. à l'hist. nat. des Turbellariés*, Pl. V, fig. 6 et 15.

trique est en réalité le seul qui autorise le classement d'*Otoplana* parmi les Triclades.

En résumé, le Turbellarié de Du Plessis est un Alloiocœle par tous ses caractères, sauf un.

Allons un peu plus loin dans la comparaison des Alloiocœles et des Triclades.

Je ne vois rien dans l'état actuel de la science qui s'oppose à ce que l'appareil digestif des Triclades puisse être considéré comme dérivant de l'intestin des Alloiocœles.

Je sais bien que les auteurs ne sont pas d'accord sur la question de savoir si les Triclades descendent des Alloiocœles, ou si, au contraire, ce ne sont pas les Alloiocœles qui descendent des Triclades. Il me paraît cependant logique d'adopter la première conception puisque l'embryologie montre, d'une part, que la disposition caractéristique de l'intestin des Triclades est toujours précédée par une phase rhabdocœle ou à intestin droit, et, d'autre part, qu'il n'y a aucun Alloiocœle ou Rhabdocœle connu passant, pendant la période embryonnaire, par une phase à intestin triclade. En effet, l'observation de Ryder (1), d'après laquelle un Triclade parasite de *Limulus polyphemus* aurait un intestin triclade à l'état jeune, tandis qu'à l'état adulte, l'intestin serait rhabdocœle, est certainement le résultat d'une erreur. Son animal à intestin droit est un Alloiocœle et n'est nullement la forme adulte du jeune Triclade qu'il a observé.

Il est à remarquer que le corps s'aplatit progressivement dans les Plagiostomides, les Monotides et les Triclades. Or, cet aplatissement graduel a de l'influence sur la forme de l'appareil gastrique. Parmi les Plagiostomides, le genre *Plagiostoma* présente un corps arrondi, son intestin sacciforme ne diffère

(1) Ryder : *Observations on the species of Planarians parasitic on Limulus.* (The American Naturalist, Vol. XVI, 1882, p. 48-51).

guère de celui des Rhabdocœlides ; les *Cylindrostoma*, qui sont un peu plus aplatis, ont l'intestin sacciforme déjà un peu irrégulièrement élargi. Les Monotides sont plus aplatis encore, leur intestin devient lobé.

En même temps la position du pharynx change. Placé dans la première moitié du corps avec ouverture buccale dirigée en avant dans les genres *Plagiostoma* et *Vorticeros* (sous-famille des *Plagiostomina*), cet organe occupe une position à peu près médiane avec bouche dirigée tantôt en avant et tantôt en arrière dans la sous-famille des *Cylindrostomina*, et enfin il est logé dans la seconde moitié du corps avec bouche dirigée en arrière dans la sous-famille des *Allostomina*. Cette dernière position se retrouve dans les Monotides et les Triclades. On pourrait encore ajouter que l'aplatissement du corps influe sur la forme du pharynx, qui, de doliiforme, devient de plus en plus cylindrique et allongé.

Le changement de position du pharynx a pour conséquence la division de l'appareil gastrique en deux régions : une prépharyngienne et une rétropharyngienne. La région prépharyngienne existe à peine dans les types à pharynx antérieur. Ainsi les coupes sagittales de *Plagiostoma* montrent simplement un très court mais large cœcum qui s'étend en avant au-dessus du pharynx. Au contraire, dans les autres types, et particulièrement chez les Monotides, la branche prépharyngienne de l'intestin est très développée, elle correspond évidemment à la branche intestinale antérieure des Triclades.

Une autre conséquence de l'aplatissement du corps, c'est l'impossibilité pour la région postérieure de l'intestin d'une part, le pharynx et les organes génitaux volumineux, d'autre part, de rester superposés. C'est là, je crois, l'explication qu'on peut donner de la formation des deux branches latérales posté-

rieures des Triclades qui, dans cette manière de voir, sont homologues de la région rétropharyngienne de l'intestin des Alloiocœles En même temps que l'intestin rétropharyngien s'est partagé en deux branches latérales, entre lesquelles le pharynx et les organes génitaux prennent place, les lobes intestinaux se sont régularisés et ramifiés pour donner naissance à la disposition plus ou moins dendritique, caractéristique de certains Triclades.

Quelques faits peuvent être signalés à l'appui de cette interprétation.

Le *Monotus setosus* présente, d'après DU PLESSIS (1) les plus remarquables ressemblances avec *Otoplana intermedia*. Ces deux espèces vivent ensemble et ne peuvent guère se distinguer l'une de l'autre que par la forme de l'intestin qui est rhabdocœle dans la première, triclade dans la seconde. Encore a-t-il semblé à DU PLESSIS que la portion rétropharyngienne de l'intestin de *Monotus setosus* est fendue.

Le genre *Bothrioplana*, décrit par BRAUN (2) et que GRAFF a eu raison de ranger parmi les Alloiocœles, présente un intestin lobé et qui, au point d'insertion du pharynx, se sépare en deux branches latérales récurrentes. Mais ces branches se rejoignent bientôt en arrière du pharynx, pour ne plus former qu'une large poche, de sorte que l'intestin postérieur présente la forme d'un ovale circumpharyngien.

Il y a là évidemment une première indication de l'intestin triclade.

Parmi les Triclades marins, les genres *Cercyra* et *Synhaga*, qui doivent être fusionnés, sont caractérisés par l'existence, entre les deux branches postérieures de l'intestin, d'un réseau

(1) DU PLESSIS. *Sur le Monotus setosus. sp. nov.* (Zool. Anzeiger. T. XII, 1889, p. 626-630, avec 2 fig.).

(2) BRAUN. *Beiträge zur Kenntniss der Fauna baltica. I. Ueber Dorpater Brunnenplanarien.* — Archiv. f. d. Naturkunde Liv., Ehst-und Kurlands, IX Bd. Dorpat., 1881.

d'anastomoses transverses. Cette disposition a été signalée aussi par O. SCHMIDT (1) chez *Dendrocœlum Nausicaæ*, par L. GRAFF (2), chez *Planaria Limuli* adulte, par VEJDOVSKY (3), chez *Planaria Vruticiana* et *Anocelis cœca* ; BRAUN dit avoir vu un cas semblable chez *Dendrocœlum lacteum* ; je puis ajouter que j'en ai observé un très grand nombre chez *Dendr. lacteum* et *Dendr. punctatum* (4).

Au moins en ce qui concerne le genre *Dendrocœlum* et *Planaria Limuli*, ces anastomoses transverses ne sont certainement pas primitives. Elles représentent une disposition secondaire, purement accidentelle. Cela est d'autant plus sûr que, d'après GRAFF, les jeunes *Planaria Limuli* ont des branches intestinales postérieures séparées ; c'est également le cas pour *Dendrocœlum*. Mais dans le genre *Cercyra*, qui, par la position de ses ovaires, se rapproche des Alloiocœles, ces anastomoses ne peuvent-elles pas représenter une phase intermédiaire entre la forme *Bothrioplana* et la forme Triclade ? On ne peut actuellement que poser la question dont la solution sera donnée par l'embryologie. Toutefois mes observations sur l'embryogénie de *Procerodes ulvœ*, un Triclade marin, m'ont montré que tous les individus de cette espèce, à l'éclosion, ont un appareil intestinal du type de celui de *Bothrioplana*, tandis qu'à l'état adulte, les deux branches récurrentes sont distinctes et indépendantes. Cette observation me porte à considérer les *Cercyra* comme conservant, pendant toute la vie, la disposition de l'intestin de *Bothrioplana* et des embryons de *Procerodes*.

On pourrait objecter à ma manière de voir, relative à l'influence de l'aplatissement du corps sur la forme de l'in-

(1) O. SCHMIDT. *Untersuchungen ueber Turbellarien von Corfu und Cephalonia*. — Zeitsch. f. wiss. Zool., t. XI, 1862.

(2) L. GRAFF. *Ueber Planaria Limuli*. — Zool. Anzeiger, 1879.

(3) VEJDOVSKY. *Exkrečnì apparát Planarií*. Sitz. der K. B. Gesellschaft der Wissensch. Prag., 1882.

(4) Voir fig. 1.

testin, que les Triclades terrestres ont un corps subcylindrique et présentent cependant les deux branches récurrentes de l'intestin distinctes. On peut répondre à cela que les Triclades terrestres ne sont certainement pas des types primitifs, mais bien des formes adaptées secondairement à la vie terrestre, et que, par conséquent, la disposition de l'intestin est acquise héréditairement. Il est d'ailleurs à remarquer que leurs troncs intestinaux sont simplement lobés.

Un caractère important pour la systématique des Turbellariés, c'est celui que l'on peut tirer de la nature et du développement du mésenchyme. Je crois être le premier à avoir appelé l'attention sur ce caractère que j'ai mis en tête des diagnoses des Rhabdocœles et des Dendrocœles que j'ai données en 1879 (1).

Ce caractère a été heureusement utilisé par Graff dans ses diagnoses des tribus des *Rhabdocœla* et des *Alloiocœla*. Chez ces derniers, le mésenchyme est aussi dense que chez les Triclades, et c'est en grande partie pour cela que j'avais réuni mes Monocéliens (= Alloiocœles) aux Triclades.

Les organes reproducteurs présentent aussi de remarquables analogies dans les deux groupes que nous considérons. Dans l'un comme dans l'autre, les testicules sont folliculaires et la disposition générale des organes mâles est très semblable.

Pour les organes femelles, nous voyons, dans les Alloiocœles, deux ovaires situés l'un à droite, l'autre à gauche de la base du pharynx. Dans les Triclades, ces deux ovaires se retrouvent, mais seulement reportés plus en avant. Il est intéressant d'ailleurs de noter quelques termes de passage. Ainsi le genre *Cercyra* a ses ovaires dans le voisinage de la base du pharynx, comme *Otoplana* et les Alloiocœles.

(1) Loc. cit., p. 144.

Les Triclades possèdent des glandes vitellines folliculaires, tandis que les Alloiocœles n'ont que deux glandes vitellines compactes. Mais celles-ci sont irrégulièrement lobées et même parfois en partie ramifiées. On conçoit très bien que l'exagération de l'aplatissement du corps ait eu pour résultat d'accentuer davantage la disposition ramifiée des glandes vitellines et de produire l'état folliculaire qui n'est qu'un état dendritique exagéré.

L'utérus, diverticule du cloaque génital, est un organe très constant chez les Triclades. Il existe également chez les Alloiocœles. S'il n'a pas été signalé chez tous ces animaux, cela tient vraisemblablement à ce que cet organe ne peut être convenablement étudié que par la méthode des coupes (1).

Les organes excréteurs présentent aussi une disposition semblable chez les Alloiocœles et les Triclades.

Quant aux organes des sens, ils n'ont rien de constant, pas plus dans l'un que dans l'autre de ces groupes. Si notamment l'otocyste fait défaut, dans la règle, chez les Triclades, il manque aussi dans la plupart des Alloiocœles, puisqu'on ne le rencontre que dans les genres *Monotus* et *Automolos*.

La conclusion de ce qui précède, c'est que les Alloiocœles présentent des affinités étroites avec les Triclades. C'est un fait d'ailleurs généralement reconnu.

Les quelques différences d'organisation qui distinguent ceux-ci de ceux-là peuvent être considérées comme une conséquence de l'exagération de l'aplatissement du corps.

(1) Pour la fonction de l'utérus des Triclades, voir mon « *Embryog. des Dendr. d'eau douce* », p. 22-27.

***

On peut aller plus loin dans la détermination des affinités des Triclades et des Alloiocœles.

Graff a, avec raison, divisé ces derniers en deux familles, les Plagiostomides et les Monotides ; mais il a tort, à mon avis, de considérer les Triclades comme dérivant de la première de ces familles. Evidemment c'est l'existence d'un seul orifice génital chez les Plagiostomides qui l'a conduit à sa manière de voir En réalité ce caractère est tout-à-fait secondaire. On trouverait de vrais Triclades digonopores que cela ne serait pas plus étonnant que l'existence de Polyclades monogonopores. Il n'y a là, en effet, qu'un simple phénomène de coalescence ou de disjonction des orifices qui ne retentit pas profondément sur la disposition générale de l'appareil reproducteur.

Au contraire, le degré de l'aplatissement du corps, qui est en relation avec une adaptation à une reptation de plus en plus parfaite, entraîne fatalement des modifications puissantes dans l'organisme. Or, quels sont les Alloiocœles les plus aplatis ? Ce sont évidemment les Monotides. Et d'ailleurs *Otoplana* ne présente-t-il pas tous les caractères de ces derniers et particulièrement de *Menotus setosus* ? « Ces deux espèces, dit Du Plessis, établissent un pont allant des Rhabdocœles aux Dendrocœles », et il ajoute, à tort évidemment : « ou vice-versa ».

Quant aux affinités des Alloiocœles et des Rhabdocœles, elles sont trop évidentes pour que je m'y arrête.

II. — Morphogénie

Nous avons vu que les Alloiocœles offrent, au point de vue de l'anatomie comparée, une curieuse série de déplacements du pharynx et de la bouche, correspondant d'ailleurs à des

degrés divers de l'aplatissement du corps. N'est-il pas naturel de considérer, comme s'éloignant le moins du type primitif, les formes chez lesquelles la bouche est antérieure ?

L'étude embryologique m'a montré que, dans les larves sphériques des Turbellariés diploblastiques, le pharynx provisoire, dépourvu de gaîne, est terminal et rappelle la disposition de la bouche également terminale des larves ciliées d'Anthozoaires, et que le pharynx de l'adulte se forme au point où existait précédemment le pharynx larvaire. Le déplacement graduel de la bouche, dans l'ontogénie, nous apparaît comme résultant d'un développement inégal des deux moitiés de la larve primitivement sphérique. A mesure que le pharynx semble se déplacer de l'extrémité antérieure vers l'extrémité postérieure, le corps, dans la règle, s'aplatit de plus en plus.

Afin de préciser davantage, supposons la larve sphérique ou légèrement ovoïde posée la bouche en bas (fig. 1). Dans ce cas, par le diamètre vertical qui se confond avec l'axe du pharynx, on peut faire passer un plan qui partage la sphère en deux hémisphères. Désignons l'un de ces hémisphères sous le nom d'*hémisphère céphalique*, l'autre sous celui d'*hémisphère caudal*. Dans le passage de la forme sphérique à la forme définitive de l'animal, on voit que les deux hémisphères subissent un développement en général inégal, variable suivant les espèces. Trois cas sont à considérer :

1° L'hémisphère caudal croît plus vite que l'hémisphère céphalique (fig. 2 et 3). — Conséquence : le pharynx de l'adulte est plus ou moins antérieur avec extrémité distale dirigée en avant.

2° La rapidité d'accroissement est égale dans les deux hémisphères (fig. 4). — Conséquence : le pharynx de l'adulte est médian, l'axe du pharynx est normal à la face ventrale.

Remarque. — Certains Alloiocœles ont un pharynx à peu près médian (fig. 9 et 10), mais trop long pour conserver la

position verticale du pharynx de *Mesostoma*; dans ce cas, la bouche est dirigée tantôt en avant (fig. 9), tantôt en arrière (fig. 10).

3° L'hémisphère caudal croît moins vite que l'hémisphère céphalique (fig. 5). — Conséquence : le pharynx de l'adulte est situé dans la seconde moitié du corps avec extrémité distale dirigée en arrière. — Ce cas est celui de tous les Triclades.

Dans les schémas suivants, l'inégale longueur des flèches supérieures indique des inégalités correspondantes dans la rapidité d'accroissement des deux hémisphères, au moment où la symétrie bilatérale est définitivement constituée. On voit que l'axe du pharynx oblique (dont la direction est marquée par la flèche inférieure) fait toujours avec la direction du plus grand accroissement un angle obtus dont l'ouverture est tournée en arrière ou en avant, suivant que le plus rapide accroissement se fait dans la direction caudale ou dans la direction céphalique. On a un angle droit dans le cas où l'accroissement est égal dans les deux directions antérieure et postérieure.

EMBRYONS SCHÉMATIQUES DE RHABDOCŒLIDES.

DIFFÉRENTS CAS DE LA POSITION ET DE L'ORIENTATION DU PHARYNX.

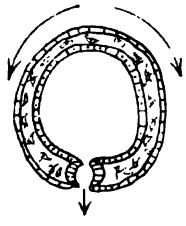


FIG. 1.

Larve sphérique ou ovoïde de Turbellarié diploblastique.

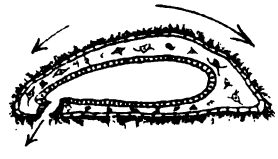


FIG. 2.

Cas de *Plagiostoma rufodorsatum*.

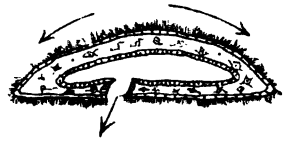


FIG. 3.
Cas de *Vorticeros auriculatum.*

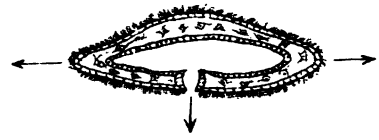


FIG. 4.
Cas de *Mesostoma Ehrenbergii.*

FIG. 5.
Cas de *Allostoma pallidum.*

Le point d'insertion du pharynx sur l'intestin semble donc entraîné dans le sens du plus rapide accroissement, la bouche restant fixe.

Il y a là, dans les relations de position et d'orientation du pharynx d'une part et d'inégal développement des régions céphalique et caudale, d'autre part, une loi embryogénique qui est applicable aussi bien aux Rhabdocœles qu'aux Alloiocœles et aux Triclades.

En examinant les schémas précédents, on pourrait être tenté de considérer, comme primitif, le cas des *Mesostoma*, à pharynx médian et à axe normal à la face ventrale. Ce serait commettre une erreur. Toutes les larves de *Rhabdocœla*, *Alloiocœla* et *Triclada* que j'ai eu occasion d'observer, sont primitivement sphériques ou légèrement ovoïdes. Dans ce dernier cas, le grand axe de l'ovoïde et l'axe du pharynx se confondent. Cette forme larvaire est facilement comparable à la larve ciliée des Anthozoaires ; comme dans celle-ci, la bouche est terminale. Il est donc naturel de considérer les types à pharynx antérieur comme se rapprochant le plus de la forme primitive, ou, si l'on aime

mieux, de la forme larvaire, et nous pouvons dire qu'un type est d'autant plus éloigné de cette forme qu'il présente un pharynx plus éloigné de l'extrémité antérieure du corps. Or, les *Mesostoma* ont la bouche médiane, et l'étude de leur développement montre que la forme adulte ne résulte pas d'un simple aplatissement de la sphère, ou si l'on aime mieux, d'une diminution de longueur de l'axe vertical de la larve sphérique, mais qu'en réalité il y a prolifération et allongement des deux moitiés céphalique et caudale.

Je ferai remarquer encore que les Monotides et les Triclades, ayant un pharynx situé dans la seconde moitié du corps, s'éloignent des Plagiostomides dont le pharynx est placé dans la première moitié.

Les schémas suivants montrent qu'il existe aussi une relation entre la position du pharynx et le degré d'aplatissement du corps.

COUPES SAGITTALES SCHÉMATIQUES D'ALLOIOCŒLES MONTRANT L'APLATISSEMENT GRADUEL DU CORPS EN RELATION AVEC LE CHANGEMENT DE DIRECTION DU PHARYNX.

FIG. 6
Larve d'anthozoaire
et de Turbellarié diploblastique
nageant librement.

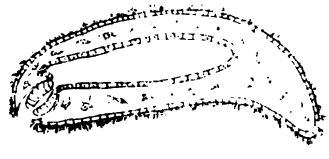


FIG. 7.
Plagiostoma rufodorsatum
(Alloiocœle essentiellement nageur).

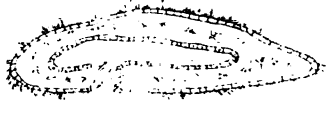


FIG. 8.
Vorticeros auriculatum
(Alloiocœle nageant et rampant).

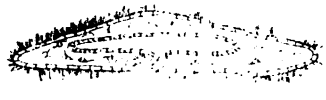


FIG 9.
Cylindrostoma inerme
(Alloiocœle plutôt rampant
que nageant).

FIG. 10.
Enterostoma Fingalianum
(Alloiocœle rampant, mais nageant encore à l'occasion).

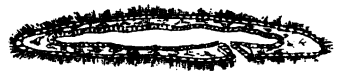


FIG. 11.
Allostoma pallidum
(Alloiocœle essentiellement rampant)

FIG. 12.
Monotus fuscus
(Alloiocœle essentiellement rampant)

Ainsi, à mesure que le pharynx semble reculer vers la partie postérieure du corps, la forme de l'animal se modifie : de sphérique ou cylindrique qu'elle est au début, elle tend à devenir rubanée. En outre, quand on a bien observé ces animaux vivants, on voit qu'il y a un rapport direct entre le degré d'aplatissement du corps et le perfectionnement de la reptation. On peut dire, d'une façon générale, qu'un Alloiocœle est essentiellement rampant quand son pharynx est situé dans la seconde moitié du corps avec extrémité distale dirigée en arrière, et que son corps, par conséquent, est plus rubané ; qu'il nage d'autant mieux que le pharynx est plus antérieur, et que son corps, par conséquent, se rapproche davantage de la forme ovoïde. Entre ces deux types, on trouve des espèces qui rampent et nagent indifféremment; ces espèces ont toujours un pharynx à peu près médian. C'est ce que j'ai essayé d'exprimer graphiquement dans les diagrammes ci-dessus.

Nous avons vu que la position et l'orientation du pharynx chez l'adulte sont directement sous la dépendance de la rapidité d'accroissement des deux hémisphères larvaires. Il y a là

un mécanisme de morphogénie que nous saisissons clairement.

De même, la transformation de la symétrie radiaire primitive en la symétrie bilatérale de l'adulte est une conséquence directe de l'inégalité du développement des deux hémisphères larvaires. Car dans ces conditions, l'accroissement ne peut plus se faire suivant une surface sphérique, mais seulement suivant une surface à peu près ovoïde. Le grand axe de l'ovoïde est l'axe antéro-postérieur de l'animal, il ne correspond pas au grand diamètre de la larve ovoïde.

Mais la relation entre la position du pharynx et la forme du corps est plus obscure, plus lointaine. Pour l'expliquer, il faut faire intervenir le *facteur hérédité*. En effet, si nous considérons les deux cas des figures 2 et 5, c'est-à-dire les deux cas à pharynx antérieur et à pharynx postérieur, nous pouvons nous demander pourquoi ces deux figures ne sont pas symétriques, pourquoi l'*Allostoma* ou le *Monotus* ne sont pas aussi cylindriques que le *Plagiostoma*, par exemple. Car enfin les deux hémisphères larvaires sont ou paraissent être symétriques, et on ne comprend pas pourquoi, *a priori*, suivant que ce sera l'un ou l'autre de ces hémisphères qui prédominera sur l'autre, on aura dans un cas une forme cylindrique, dans l'autre une forme rubanée.

C'est le *facteur hérédité* qui vient ici se joindre aux *facteurs vitesses d'accroissement* pour en compliquer le produit. La cause qui engendre l'aplatissement des espèces du type de la fig. 5, à pharynx postérieur, nous échappe complètement, lorsque nous suivons les phénomènes embryogéniques. Tout nous porte à admettre que ces espèces à pharynx postérieur ont dû passer successivement, dans le cours de leur développement phylogénique, par des phases analogues à celles des fig. 1 à 4, à pharynx antérieur, puis médian, et qu'ainsi ces types se trouvent être les dépositaires de toute une série de caractères hérités.

L'explication la plus vraisemblable de la relation entre la

position du pharynx et la forme du corps paraît être la suivante : à mesure que le pharynx a reculé, dans le développement phylogénique, les espèces ont pris de plus en plus l'habitude de ramper et le corps s'est de plus en plus adapté à la reptation en s'aplatissant.

Les relations morphologiques dont le mécanisme morphogénique nous est connu, peuvent être résumées de la façon suivante :

1° *L'accroissement est plus rapide dans l'hémisphère caudal que dans l'hémisphère céphalique* : le pharynx est situé dans la première moitié du corps avec extrémité distale dirigée en avant, le corps est plus ou moins ovoïde, l'animal est nageur.

2° *La rapidité d'accroissement est égale dans les deux hémisphères ;* le pharynx est médian, son axe est normal à la face ventrale, le corps est sensiblement aplati, l'animal nage et rampe indifféremment.

3° *L'accroissement est moins rapide dans l'hémisphère caudal que dans l'hémisphère céphalique* : le pharynx est situé dans la seconde moitié du corps avec extrémité distale dirigée en arrière, le corps est très aplati, l'animal est rampant.

De ce qui précède il résulte clairement que toute la morphologie des Triclades et des Rhabdocœlides est dominée par le fait initial de l'inégalité du développement des hémisphères caudal et céphalique de la larve. C'est cet accroissement inégal qui produit le changement de symétrie, c'est de lui que dépend directement la position et l'orientation du pharynx, et indirectement la forme cylindrique ou plus ou moins aplatie du corps la disposition de l'intestin et des glandes vitellines.

Il y a là une loi morphogénique très générale pour tout le groupe.

Quelques cas spéciaux confirment la loi. Les Triclades terrestres me paraissent, à cet égard, particulièrement intéressants.

Cas de *Leimacopsis terricola* : La morphologie de cet animal constitue une véritable exception dans la tribu des *Terricola*. La bouche se trouve dans le tiers antérieur du corps. A la vérité, SCHMARDA, qui a décrit cette espèce, ne dit pas quelle est l'orientation du pharynx, mais on sait que dans le genre *Prostheceraeus*, dans lequel cet auteur avait rangé la planaire terricole en question, l'extrémité distale du pharynx est antérieure. Quant à la forme du corps, elle est fortement convexe. « Der Rücken ist stark convex », dit SCHMARDA.

Cas de *Polycladus Gayi* : Tandis que toutes les géoplanaires, à l'exception de *Leimacopsis*, ont la bouche presque centrale, située un peu en arrière du milieu du corps, et ont par suite le corps subcylindrique, le *Polycladus* présente la bouche au tiers postérieur, mais aussi son corps est plus aplati que dans aucun autre *Terricola*.

Cas paraissant infirmer la loi. — Quelques cas paraissent en contradiction avec la loi. Ainsi, parmi les Triclades terricoles, le *Microplana* a la bouche située franchement dans la seconde moitié du corps et pourtant le corps ne présente pas l'aplatissement de *Polycladus*, il est au contraire arrondi.

J'ai tout lieu de croire que cette exception à la loi, et quelques autres analogues, sont plus apparentes que réelles, et qu'il s'est produit, dans l'espèce, un *allongement secondaire* de la région céphalique. La connaissance incomplète de l'organisation de *Microplana* et l'absence absolue de renseignements sur son embryogénie ne nous permettent pas de discuter ce cas spécial. Mais j'ai constaté un fait intéressant d'allongement secondaire dont je puis préciser la cause.

Le voici :

Parmi les formes tératologiques que j'ai déjà fait connaître (1), il en est une, réalisée par le *Dendrocœlum Nausicaæ* d'Osc. SCHMIDT, qui me paraît capable d'expliquer toutes les exceptions apparentes à la loi morphogénique. Dans cette forme que jai observée chez *Dendrocœlum lacteum*, les branches récurrentes de l'intestin forment un ovale fermé en arrière du pharynx et des organes génitaux. Cette monstruosité qui réalise un cas qui est normal pour les jeunes *Procerodes ulvœ*, me paraît être toujours précoce. Je l'ai rencontrée chez un jeune à l'éclosion (2). Mais elle n'est pas incompatible avec le développement des organes génitaux, puisque je l'ai observée aussi chez des individus à maturité sexuelle (3).

La bouche, chez *Dendr. lacteum* normal, est située franchement dans la seconde moitié du corps, aussi bien chez le jeune nouvellement éclos que chez l'adulte. Le jeune *Dendr. lacteum*, présentant la particularité tératologique en question, avait la bouche située dans la seconde moitié du corps comme les jeunes normaux. Au contraire, les adultes atteints de la même malformation ont la bouche médiane ou très peu en arrière ou même en avant du milieu du corps; leurs organes d'accouplement sont, par suite, relativement plus antérieurs que dans les individus normaux.

Chez le jeune anormal comme chez les individus normaux, la longueur de la branche antérieure de l'intestin est à celle des branches récurrentes comme 3 est à 5, et la longueur de la partie prébuccale du corps est à celle de la partie rétrobuccale comme 9 est à 5. Chez les individus anormaux adultes, les longueurs de la branche antérieure et des branches récurrentes sont entre elles comme 1 est à 2, et la bouche est médiane ou à peu près. J'ai pris ces mesures sur les animaux

(1) P. HALLEZ. — *Sur l'origine vraisemblablement tératologique de deux espèces de Triclades*. (Comptes rendus Ac. Sc., 16 mai 1892).

(2) Fig. 2 de la Planche.

(3) Fig. 3 de la Planche.

à l'état d'extension, tels qu'ils se présentent lorsqu'ils rampent en glissant lentement (1).

Ainsi, voici un fait bien établi : c'est *secondairement* qu'il se produit, chez nos individus monstrueux, un allongement de la seconde moitié du corps. Ces individus, à bouche presque centrale, ne sont pas moins aplatis que les individus normaux et pourraient, par conséquent, comme *Microplana*, être présentés comme une objection à la loi morphogénique des Triclades et des Rhabdocœlides.

Les conditions qui amènent l'allongement secondaire de la deuxième moitié du corps peuvent être précisées. En effet, l'espace dans lequel doivent se développer le pharynx et les organes sous jacents, étant fermé en arrière de bonne heure, il en résulte que ces organes sont gênés dans leur accroissement. Aussi le pharynx des individus anormaux, comme d'ailleurs celui de *Dendr. Nausicaæ*, est-il tortueux et plissé dans sa gaîne. Il n'y a pas de doute pour moi que l'allongement secondaire ne porte que sur la région des organes d'accouplement et ne s'effectue à mesure que ceux-ci s'accroissent.

Nous pouvons donner, comme démonstration de cette assertion, les rapports de longueur linéaire entre la partie circumbuccale des branches récurrentes et la partie postérieure impaire de ces mêmes branches dans les jeunes et les adultes. Dans les jeunes anormaux, la longueur des branches récurrentes depuis l'insertion du pharynx jusqu'au point où elles se réunissent en arrière de la bouche, est à peu près égale à la longueur de la partie impaire de ces mêmes branches. Dans les individus anormaux adultes, au contraire, ces deux mêmes longueurs sont entre elles comme 7 est à 5. On voit donc que l'allongement de la partie postérieure du corps de ces individus anormaux adultes est plus grand dans la région des organes copulateurs qu'en arrière de cette région.

(1) Voir les fig. 2 et 3 de la Planche.

En se basant sur ces observations, on peut, je crois, établir ce principe :

Un accroissement secondaire de l'une des moitiés du corps peut modifier la position de la bouche, sans influer sur l'orientation du pharynx, ni sur la forme du corps qui sont acquises définitivement à l'animal à la suite du développement initial des deux hémisphères céphalique et caudal de la larve.

Ce principe, qui complète ma loi morphogénique, indique en même temps la méthode à suivre pour trouver l'explication des exceptions apparentes à cette loi.

III. — Formes tératologiques.

Les principes précédents sont ceux de la Morphogénie normale.

La tératologie peut jouer un rôle dans la production de nouvelles formes.

Nous venons de voir que certains individus de *Dendrocœlum lacteum* présentent, en arrière des organes d'accouplement, une seule branche intestinale au lieu de deux. Leur bouche se trouve au milieu du corps, leur pharynx est placé à l'intérieur d'une gaîne qui paraît trop courte, leur corps n'est pas moins aplati que celui des individus normaux. J'ai exposé la façon dont s'opère le déplacement de la bouche et le plissement du pharynx, je n'y reviendrai pas.

Cette monstruosité peut être interprétée de deux façons différentes. Ou bien il y a fusion complète, sur la ligne médiane, d'une portion notable (la moitié de la longueur chez les jeunes individus) des branches récurrentes préformées, ou bien l'intestin, qui est primitivement droit, ne se sépare jamais, dans sa portion rétrobuccale, à aucune période du développement, en deux branches complètement distinctes, mais présente seulement un écartement en forme d'ovale autour du pharynx et des organes copulateurs. Si cette seconde interpré-

tation était la bonne, nous serions ici en présence d'un phénomène d'atavisme réalisant le cas de *Bothrioplana*, ou du jeune *Procerodes ulvæ*, intermédiaire entre la forme de l'intestin rhabdocœle et celle de l'intestin triclade. Malheureusement je ne suis pas en mesure de trancher cette question. Tout ce que je puis dire, c'est que cette monstruosité est toujours très précoce.

Il est intéressant de constater que toutes les particularités, que j'ai signalées dans le cas tératologique en question, se retrouvent dans une espèce de Corfou et de Céphalonie trouvée par Os. Schmidt et décrite par lui sous le nom de *Dendrocœlum Nausicaæ*.

Les *Dendrocœlum lacteum* et *punctatum* m'ont encore fourni d'autres anomalies. Il arrive très fréquemment, chez ces animaux, que les deux branches récurrentes de l'intestin se réunissent en arrière, par une ou plusieurs anastomoses transverses (fig. 1). C'est un simple phénomène de coalescence entre parties similaires qui, d'après mes observations, paraît se produire assez tard, peut-être même chez l'adulte. Aussi, cette anomalie est sans importance pour la morphologie générale de l'animal.

Les yeux varient quelquefois dans leur forme et dans leur nombre.

Phagocata gracilis, comme *Dendrocœlum Nausicaæ*, me paraît être une espèce d'origine tératologique. Cette planaire présente tous les caractères anatomiques du genre *Planaria;* elle ne s'en distingue que par la multiplicité des pharynx dont un plus grand médian, et huit à neuf paires de plus petits, insérés le long des branches récurrentes; elle ne possède qu'une seule

ouverture buccale. Il me paraît difficile de ne pas considérer cette multiplicité des pharynx, de même que la polydactylie, comme un caractère tératologique fixé et devenu spécifique et même générique.

J'ai observé trois cas de duplicité du pharynx :

1° *Polycelis nigra* adulte (fig. 4). — Deux pharynx soudés à la base, pouvant fonctionner d'une manière tout à fait indépendante, et semblant être le résultat d'un traumatisme. Une seule bouche.

2° *Planaria polychroa* jeune (Fig. 5). — Tandis que, dans le cas précédent, on a un pharynx bifide à deux ouvertures distales, dans ce second cas les deux pharynx sont indépendants sur toute leur longueur, mais ils sont très rapprochés l'un de l'autre. Ils sont de même taille, bien que l'un soit un peu plus médian que l'autre. Une seule bouche.

3° *Planaria polychroa* adulte (Fig. 6). — Deux pharynx indépendants et un peu inégalement développés; l'un est médian, très légèrement dévié à gauche, l'autre s'insère près du premier sur la branche récurrente droite. C'est celui-ci dont la taille est un peu moindre. Une seule bouche.

C'est M. C. Dareste qui, le premier, je crois, a émis l'idée que la tératogénie a dû et peut encore jouer un rôle dans la formation de nouvelles races ou espèces.

Les conditions spéciales du développement qui sont la cause de telle monstruosité peuvent, à un moment et en un lieu donnés, agir sur un nombre suffisant d'individus de la même espèce en voie de développement pour que ces individus, devenus adultes, puissent devenir le point de départ d'un organisme nouveau, caractérisé par la particularité tératologique apparue brusquement chez leurs parents.

Si c'est ainsi que se constituent les espèces tératologiques, ces formes, à moins qu'elles ne soient très anciennes, doivent avoir une distribution géographique peu étendue. Or, c'est pré-

cisément le cas de *Dendrocœlum Nausicaæ* et de *Phagocata gracilis* qui sont cantonnés exclusivement, le premier dans les îles Ioniennes, le second en Pensylvanie.

IV. — Résumé.

1. *Toute la morphologie des Triclades et des Rhabdocœlides est dominée par le fait initial du développement inégal des hémisphères caudal et céphalique de la larve.*

2. *C'est cet accroissement inégal qui produit la symétrie de l'adulte, et détermine la position et l'orientation du pharynx.*

3. *Les types à pharynx situé dans la seconde moitié du corps ont dû passer successivement, dans le cours de leur développement phylogénique, par des phases à pharynx antérieur, puis médian et enfin postérieur.*

4. *Il existe une relation constante entre la position du pharynx, la forme du corps et le mode de locomotion de l'animal. Cette relation est due à l'hérédité.*

5. *La disposition de l'intestin et des glandes vitellines sont sous la dépendance de la forme du corps.*

6. *Un accroissement secondaire de l'une des moitiés du corps peut modifier la position de la bouche, sans influer sur l'orientation du pharynx, ni sur la forme du corps, qui sont acquises définitivement à l'animal à la suite du développement initial des deux hémisphères céphalique et caudal de la larve.*

7. *La tératogénie est capable de produire des espèces nouvelles.*

Enfin, à ces règles morphogéniques, il convient d'ajouter

la loi très générale que j'ai désignée (1) sous le nom de loi de l'orientation de l'embryon et que je formule ainsi :

8. *La cellule-œuf possède la même orientation que l'organisme maternel qui l'a produite. Les pôles céphalique et caudal, les côtés droit et gauche, les faces dorsale et ventrale de l'adulte, de l'œuf et de l'embryon se correspondent.*

C'est en me basant sur les données qui me sont fournies par l'étude du développement des œufs d'été des *Mesostoma* et sur celles qui résultent de l'étude des phénomènes bien connus de rédintégration que j'ai été amené à appliquer cette loi aux Rhabdocœlides et aux Triclades.

(1) Voir Comptes-Rendus Acad. Sc., 10 août 1885 et 4 octobre 1886.

EXPLICATION DE LA PLANCHE

FIG. 1. — *Dendrocœlum punctatum* vu par la face ventrale. Les branches intestinales récurrentes sont réunies par une anastomose transverse. Grossi 5 fois.

FIG. 2. — *Dendrocœlum lacteum.* Jeune individu peu après l'éclosion; il est encore pourvu de ses soies raides. Les deux branches intestinales récurrentes forment un anneau circumbuccal et constituent une branche unique en arrière.

FIG. 3. — *Dendrocœlum lacteum* adulte. Même cas tératologique que ci-dessus.

FIG. 4. — *Polycelis nigra* adulte. Pharynx bifide.

FIG. 5. — *Planaria polychroa* jeune. Deux pharynx distincts et égaux.

FIG. 6. — *Planaria polychroa* adulte. Deux pharynx distincts et inégaux

br. a. Branche intestinale antérieure.

br. r. d. Branche récurrente droite.

br. r. g. Branche récurrente gauche.

TRAVAUX ET MEMOIRES DES FACULTES DE LILLE

MÉMOIRES PARUS

TOME I

N° 1. — PAUL PAINLEVÉ : *Transformation des fonctions* V (x, y, z). Prix. . . 1 fr. 75

N° 2. — PIERRE DUHEM : *Des Corps Diamagnétiques.* Prix. . . 3 fr. 50

N° 3. — PAUL FABRE. *Le Polyptyque du chanoine Benoit* — ETUDE SUR UN MANUSCRIT DE LA BIBLIOTHÈQUE DE CAMBRAI — avec une reproduction en phototypie sur papier de Hollande. Prix. . . 3 fr. 50

N° 4. — A. & P. BUISINE : *La Ci[illegible] des Abeilles* (Analyse et falsifications. Prix. . . 4 fr.

N° 5. — PIERRE DUHEM : *Sur la continuité de l'état liquide et de l'état gazeux* (avec figures). Prix. . . 7 fr.

TOME II

N° 6. — C. EG. BERTRAND : *Remarques sur le Lépidodendron Hartcourtii de Witham* (avec planches). Prix. . . 10 fr.

N° 7. — ETIENNE BARTIN : *Etudes sur le régime dotal.* Prix. . . 3 fr.

N° 8. — P. DUHEM : *Sur la dissociation dans les systèmes qui renferment un mélange de gaz parfaits.* Prix. . . 6 fr.

N° 9. — PAUL HALLEZ : *Morphogénie générale et affinités des turbellariés.* Prix. . . 2 fr.

EN COURS D'EXÉCUTION :

P. T. TOURNEUX : *Atlas d'embryologie des organes génitaux urinaires.*

B[illegible] ULLETIN DES FACULTÉS DE LILLE (1re ET 2e ANNÉES).

TRAVAUX ET MEMOIRES DES FACULTES DE LILLE

MÉMOIRES PARUS

TOME I

N° 1. — PAUL PAINLEVÉ : *Transformation des fonctions* V (x, y, z).
Prix. . . 1 fr. 75

N° 2. — PIERRE DUHEM : *Des Corps Diamagnétiques.*
Prix. . . 3 fr. 50

N° 3. — PAUL FABRE. *Le Polyptyque du chanoine Benoit* — ETUDE SUR UN MANUSCRIT DE LA BIBLIOTHÈQUE DE CAMBRAI — avec une reproduction en phototypie sur papier de Hollande. Prix. . . 3 fr. 50

N° 4. — A. & P. BUISINE : *La Cire des Abeilles* (Analyse et falsifications.
Prix. . . 4 fr.

N° 5. — PIERRE DUHEM : *Sur la continuité de l'état liquide et de l'état gazeux* (avec figures). Prix. . . 7 fr.

TOME II

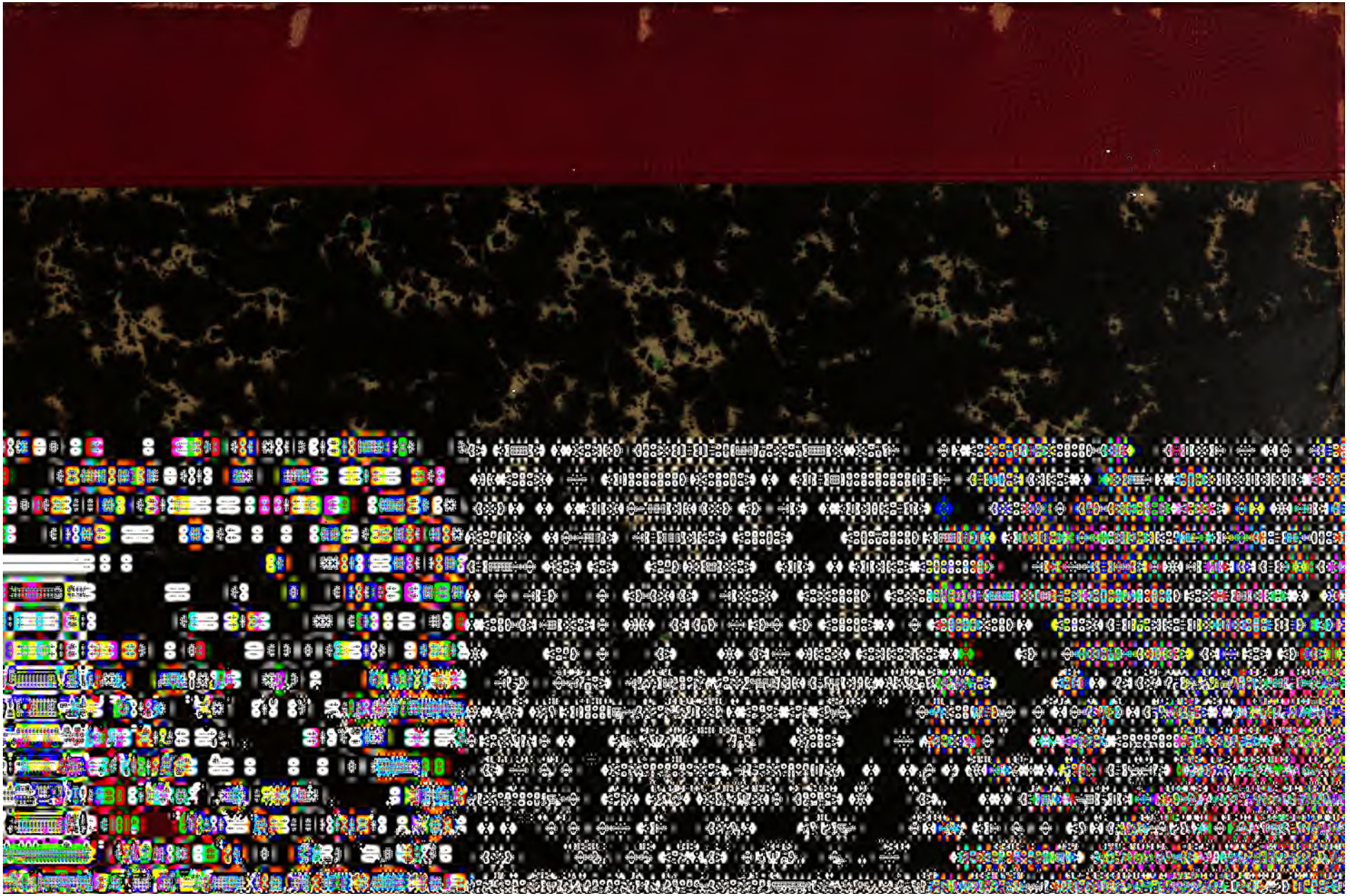
N° 6. — C. EG. BERTRAND : *Remarques sur le Lépidodendron Hartcourtii de Witham* (avec planches). Prix. . . 10 fr.

N° 7. — ETIENNE BARTIN : *Etudes sur le régime dotal.*
Prix. . . 3 fr.

N° 8. — P. DUHEM : *Sur la dissociation dans les systèmes qui renferment un mélange de gaz parfaits.*
Prix. . . 6 fr.

N° 9. — PAUL HALLEZ : *Morphogénie générale et affinités des turbellariés.* Prix. . . 2 fr.

EN COURS D'EXÉCUTION :

F. TOURNEUX : *Atlas d'embryologie des organes génitaux urinaires.*

BULLETIN DES FACULTÉS DE LILLE (1re ET 2e ANNÉES).